

**Az alacsony frekvenciás elektromágneses tereknek tulajdonított
egészségkárosító hatás és tünetészlelés biofizikai és
pszichofiziológiai hátterének vizsgálata komplex állatkísérletes
modellrendszer és humánkísérletes vizsgálat segítségével**

Drozdovszky Orsolya

V.éves biológus hallgató

Témavezető: **Dr. Bárdos György**

Egyetemi docens

ELTE Biológiai Intézet Élettani és Neurobiológiai Tanszék

2010

Tartalomjegyzék

1. Rövidítésjegyzék.....	4
2. Bevezetés.....	5
3. Irodalmi áttekintés.....	6
3.1. Az extrém alacsony frekvenciás elektromágneses tér	6
3.2. Az ELF EMF hatása az embrionális-, magzati-, posztnatális fejlődésre valamint a kognitív teljesítményre.....	7
3.3. Elektroszenzitivitás (EHS), mint az elektromágneses kitettségnek tulajdonított tünetészlelés.....	12
4. Célkritikák.....	14
5. Anyag és módszer.....	16
5.1. Az állatkísérletes modellrendszerrel végzett vizsgálat.....	16
5.1.1 Kísérleti állatok.....	16
5.1.2.Kezelés.....	17
5.1.3. Kísérleti eljárás és kísérleti berendezések.....	17
5.1.3.1. Emelt-keresztpalló teszt	17
5.1.3.2. Az általános aktivitás mérés.....	19
5.1.3.3. Szociális elkerülés teszt (Social Avoidance).....	20
5.1.4. Elemzés, kódolás, értékelés.....	21
5.1.5. Statisztikai elemzés.....	21
5.2. Humán mintákon végzett vizsgálatunk.....	22
5.2.1. Résztvevők.....	22
5.2.2. Kísérleti berendezés és a kísérleti procedúra.....	22
5.2.3. A vizsgálat során felhasznált kérdőívek.....	24
5.2.3.1. Elektroszenzitivitás.....	24
5.2.3.3. Modern Egészségfájdalom skála (Modern Health Worries – MHW).....	24
5.2.3.4. Detekciós próbák.....	24
5.2.3.5. Tünetek észlelése.....	24

5.2.4. Statisztikai elemzés.....	26
6. Eredmények.....	26
6.1 Az ELF-EMF expozícióviselkedésre gyakorolt hatásai állatkísérletes modellrendszerünkben.....	26
6.1.1. Az alkalmazott tesztek változóinak értelmezése és kapcsolataik (faktoranalízis)....	26
6.1.2. Az elektromágneses kezelés hatása csoportonkénti bontásban vizsgálva.....	30
6.1.2.1 Az általános aktivitás mérése motimeterben	30
6.1.2.2. A helyzeti szorongás mérése az emelt keresztpalló tesztben.....	32
6.1.2.3. A szociális szorongás mérése a szociális elkerülés tesztben.....	32
6.1.3. A teljes mintán végzett többváltozós ismétléses ANOVA.....	35
6.1.3.1. Általános aktivitásra kapott eredmények.....	35
6.1.3.2 Emelt keresztpalló aktivitásbeli változóra kapott eredmények.....	36
6.1.3.3. Szociális elkerülés tesztben kapott eredmények.....	36
6.2. Az elektroszenzitív (EHS) és a kontroll csoportok összehasonlítása.....	37
6.2.1. Elvárások.....	37
6.2.3. Észlelt tünetek.....	38
6.2.4. Korrelációs vizsgálat az egyes változók között.....	39
7. Megvitatás.....	39
8. Összefoglalás.....	41
9. Irodalomjegyzék.....	42

1.Rövidítésjegyzék

Cont	kontroll csoport
ELF EMF	extremly low frequency electromagnetic field- extrém alacsony frekvenciás elektromágneses tér
EMF	electromagnetic field
EHS	elektroszenzitív
IARC	International Agency for Research on Cancer- Nemzetközi Rákkutatú Ügynökség
ICNIRP	International Comission on Non-Ionizing Radiation Protection -Nemzetközi Nem-ionizáló Sugárvédelmi Bizottság
MHW	Modern Egészségfeltés
OSSKI Intézet	Országos „ <i>Frédéric Jolit-Curie</i> ” Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató
WHO	World Health Organization- Egészségügyi Világszervezet

2. Bevezetés

A technológiai fejlődés következtében a mesterséges alacsony-frekvenciás elektromágneses terek (ELF-EMF) szintje az elmúlt 40-50 évben folyamatosan emelkedett. Az elektromágneses hullámok a mindennapok kikerülhetetlen velejárói: szinte minden háztartási gépnek, elektromos vezetékeknek, rádió- és televízióadónak, mobilátjátszó toronynak van sugárzása. Az elektromágneses sugárzás egészségügyi hatásait már az 1950-es években, a radarok és a különböző orvosi berendezések elterjedésével vizsgálni kezdték. Az 1960-as években a mikrohullámú sütő mind szélesebb körű használata, majd később a számítógép megjelenése és végül az 1980-as években a mobiltelefonok felbukkanása miatt kiterjesztették a kutatásokat (<http://www.origo.hu/tudomany/20100512-az-elektromagneses-ter-karos-hatasu-a-tulerzekeny-emberekre.html>). Bár az LF-EMF expozíció érzékszervekkel nem érezhető, bizonyos értéken túl az emberi testben keltett örvényáramok ingerlik az izom- és idegsejteket. Mivel a mágneses sugárzás behatol a testbe, egyesek rákot, főleg leukémiát és genetikai károsodást előidéző hatást tulajdonítanak neki (BÁRDOS,2006) (hivatkozás!!!). Ugyanakkor az elektromágneses eszközök, berendezések környezetében élő vagy dolgozó emberek gyakran panaszkodnak olyan nem-specifikus tünetekről (NSEP) is (pl. fejfájás, émelygés, alvászavarok, fáradtság), melyek diszkomfort érzetet keltve jelentősen ronthatják az életminőségüket(BÁRDOS et al.,Az eddigi vizsgálatok nem találtak egyértelmű bizonyítékot az LF-EMF egészségkárosító hatására - viszont valamennyi megállapította, hogy további kutatásra van szükség ahhoz, hogy teljes bizonyossággal lehessen eldönteni a kérdést. Dolgozatomban az EM expozíciónak tulajdonított tünetészlelés, egészségproblémák háttértényezőit vizsgáltam. Célunk annak vizsgálata volt, hogy az elektromágneses expozíciók hatásának tulajdonított nem-specifikus tünetek, panaszok milyen részben tekinthetők pszichés tényezők (negatív elvárások, elektromágneses terekkel kapcsolatos aggodalmak) következményének, és mennyiben az elektromágneses terek közvetlen élettani hatásának. A kérdés megválaszolása céljából két vonalon dolgoztunk párhuzamosan. Standardizált állatkísérletes modellrendszer segítségével tanulmányoztuk az EM expozíció hatására bekövetkező esetleges viselkedésváltozást, ezáltal vizsgálva az EM expozíciónak tulajdonított tünetképzés esetleges biológiai hátterét. Magzat illetve kölyökkori hosszú távú elektromágneses expozíció felnőttkori viselkedésre gyakorolt hatását vizsgáltuk, mivel az EM tereknek tulajdonított lehetséges egészségi ártalom terhes anyák és gyermekek esetében kevésbé vizsgált, pedig a fejlődő szervezetek esetében az esetleges károsító hatás még kifejezettebb lehet. Az LF-EMF egészségkárosító hatásának számos kutató által felvetett pszichológiai háttértényezőit humán mintán vizsgáltuk, elektrohiperszenzitív (EHS) valamint kontroll személyek mező-detekciós képességének, EM terekkel kapcsolatos

aggodalmának, elvárásainak, észlelt tüneteinek összehasonlításával, arra keresve a választ, hogy milyen tényezők befolyásolhatják az elektroszenzitivitást, tünetészlelést.

3. Irodalmi áttekintés

3.1. Az extrém alacsony frekvenciás elektromágneses tér

Az elektromoserőteret a vezetőkre kapcsolt feszültség hozza létre, ami azt jelenti, hogy a feszültség alatt lévő vezetők körül mindig megjelenik a villamos erőter, függetlenül attól, hogy a vezetőben folyik-e áram. A villamos térerősség a feszültségtől és a távolságtól függ: minél nagyobb a feszültség, annál nagyobb a térerősség, a távolság növelése viszont a térerősség csökkenését eredményezi. A szabadvezetékek által létrehozott villamos térerősséget csökkentik az épületek fém szerkezeti elemei (pl. a betonszerkezetek vasalása). A villamos térerősség lakosságra vonatkozó, napi 24 órás, 50 Hz frekvencián érvényes határértéke 5000 V/m (volt-per-méter). Dr. Betra István és munkatársai, elektromágneses és mágneses erőterek hatását vizsgálták. A szakszemélyzet számára ellenőrzött körülmények mellett napi 8 órás időtartamra a javasolt határérték 10000 V/m. A számításokkal és mérésekkel a jellemző esetekre 100-1500 V/m térerősséget kaptak a talajszinttől 1,8 m magasságban. Az eredmények alapján tehát megállapítható, hogy azokon a helyeken, ahol a lakosság tartózkodhat, a tényleges értékek sehol sem haladják meg a nemzetközi ajánlásokban szereplő egészségügyi határértéket (BERTA et al.,2009). A következő táblázat néhány, a mindennapi életben használt villamos készülék közvetlen közelében mérhető villamostérerősség-értéket tartalmaz.

Készülék	Villamos térerősség [V/m]
Tűzhely	8
Vasaló	100
Hajszárító	80
Porszívó	50
Asztali lámpa	5
Tévékészülék	60
Sztereoradio	180
Fűtőpárna	500
Bojler	260
Kávéfőző	60

Ezek a pontszerű források által létrehozott értékek általában rövid időre (néhány percre vagy órára, nem folyamatos hatásra), és rendkívül kis távolságra (néhány centiméter) vonatkoznak. Az értékek a távolság növekedésével rohamosan (néhány centiméter után nagyságrendekkel) csökkennek ((BERTA et al.,2009)

Az elektromágneses sugárzások spektrumát biofizikai hatás alapján ionizáló és nem ionizáló tartományra különítik el. *Ionizáló sugárzásnak* a 3×10^{15} Hz frekvenciát meghaladó, és 100 nm-nél rövidebb hullámhosszú sugárzásokat nevezzük. A határt az ultraibolya tartományban húzták meg, ott, ahol a foton energiája 12,4 eV. E fölött a sugárzás az anyaggal kölcsönhatásba lépve az atomokból pozitív töltésű ionokat és elektronokat, elektronpárokat hoz létre, azaz ionizál. Az ionizáló sugárzás egészségkárosító hatása már nem csak tudományosan egységesen elfogadott, hanem a közvélemény számára is ismert tény, hogy a környezeti fizikai tényezők közül ezek az egyik legismertebb rákkeltők (SZABÓ et al.2002). *Nem-ionizáló sugárzásokon* azokat az elektromágneses (EM) sugárzásokat, illetve elektromos és mágneses tereket értjük, amelyek hullámhossza 100 nm és a végtelen, frekvenciája 0 Hz (statikus elektromos és mágneses tér) és 3×10^{15} Hz között van. Ezen terek kvantumai 12,4 eV-nál kisebb energiájúak, így nem képesek az atomokból elektronok leszakítására, ionizáló képességük elhanyagolható. A mesterséges nem ionizáló elektromágneses sugárzás eredete szerint beszélhetünk mikrohullámú (MH), rádiófrekvenciás (RF), valamint extrém alacsony frekvenciás (ELF) tartományokról (Szabó et al.,2005). A nem-ionizáló sugárzások sugárvédelmére, a megengedhető szintekre, korlátokra vonatkozó nemzetközi ajánlásokat a Nemzetközi Nem-ionizáló Sugárvédelmi Bizottság (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP), és az Egészségügyi Világszervezet (World Health Organisation, WHO) közösen készíti és adja ki. Az ajánlásokat az EU és Magyarország is elfogadta. A hazai szabványok közel megegyező, esetenként szigorúbb előírásokat tartalmaznak. Az egészségügyi határértékek kialakításánál két egymástól eltérő szemlélet érvényesül: 1. az egészség védelmének elve és 2. az elővigyázatosság elve (SZABÓ et al.2002).A hazai rendelet (63/2004. ESzCsM) lakossági állandó tartózkodásra elektromos térerősség esetén 5 kV/m-t, 24 órás mágneses indukció esetén 100 μ T-t ír elő. Az EU nemzetközi ajánlás (Directive 2004/40/EC) dolgozók esetén ezeknek az értékeknek az ötszörösét engedélyezi. A távvezetékek esetében rendelet [122/2004. (X. 15.)] írja elő az ún. biztonsági övezet terjedelmét. A biztonsági övezet egy műszaki védelmi terület, amelyen belül korlátozható a lakóépületek építése. Nagyfeszültségű légvezeték esetében ez a távolság a szélső vezetéktől 500 kV névleges feszültség felett 40m, 300-500 kV között 28 m, 200-300

kV között 18 m, 100-200 kV között 13 m, 1-35 kV között 5 m (kivételes esetekben 2,5 m). A fenti biztonsági övezet betartása általában biztosítja azt is, hogy a távvezeték közelébe kerülő épületben a mágneses tér expozíciója a megengedett határértékek alatt legyen (SZABÓ et al.2002).

3.2. Az ELF EMF hatása az embrionális-, magzati-, posztnatális fejlődésre valamint a kognitív teljesítményre

Embrionális-, és magzatkorra gyakorolt hatás rágcsálókban

Többen vizsgálták az ELF elektromágneses tér terhesség alatti expozíciójának hatását mind anyapatkányra, mind az utódokra nézve több frekvencián és különböző mágneses indukció értékeken. Az embrionális és magzatkori fejlődre irányuló vizsgálatok során az anyaállatok kezelése a teljes terhesség alatt, vagy a terhesség bizonyos szakaszaiban történt. Az anyaállatra nézve nem találtak kedvezőtlen hatást egyik esetben sem. Nézték a terhességi arányt (Huuskonen és mtsai, 1993), felszívódások számát (Huuskonen és mtsai, 1993; Negishi és mtsai, 2002; Ryan és mtsai, 2000; Mevissen és mtsai, 1994; Rommereim és mtsai, 1990), életképes magzatok számát (Negishi és mtsai, 2002), anyai test- és szervtömeg változásokat (Chung és mtsai, 2003; Ryan és mtsai, 1996), hematológiai és szérumbiológiai változásokat (Chung és mtsai, 2003), a terhesség hosszát, a táplálékigyerzést (Chung és mtsai, 2004), alomméretet (Ryan és mtsai, 2000; Rommereim és mtsai, 1990), implantációk számát (Mevissen és mtsai, 1994; Rommereim és mtsai, 1990).

Az utódok esetében vizsgálták a magzat tömegét (Huuskonen és mtsai, 1993; Chung és mtsai, 2003; Rommereim és mtsai, 1990), a magzati halált (Chung és mtsai, 2003; Negishi és mtsai, 2002). Egyik változó esetében sem találtak szignifikáns eltérést a kezelt és a kontroll állatok között, leszámítva néhány borda variációt (Ryan és mtsai, 2000; Ryan és mtsai, 1996) és kisebb csontrendszeri rendellenességeket (Mevissen és mtsai, 1994; Huuskonen és mtsai, 1993). Nem találtak eltérést a növekedési jellemzőkben, viselkedésben, reprodukcióban (Chung és mtsai, 2004), ivararányban (Negishi és mtsai, 2002; Ryan és mtsai, 2000), az F2 nemzedék embrionális és magzati fejlődésében (Rommereim és mtsai, 1990; Chung és mtsai, 2004); fertilitásban, a terhesség alatti tömegnövekedésben, a prenatális életképességben sem (Rommereim és mtsai, 1990). Egerek posztnatális fejlődését (szemnyílás ideje, külső fül felegyenésedése, fogfeltörés, szőr növekedés, szexuális érés, tömeg, valamint levegőben megfordulási reflex (air righting), hasra fordulás (surface righting), fogóreflex (forepaw

grasp), szél elkerülés (cliff avoidance), és negatív geotaxis) és open fielddel, forgó rúddal (Rotarod), és aktivitás mérő kerékkel (activity wheel) vizsgálva csupán néhány esetben találtak szignifikáns eltérést a kezelt és a kontroll egerek között. A kezelt hímek szignifikánsan kisebb tömegűek voltak 30 naposan, kevesebb ideig maradtak a forgó rúdon fiatakként, és korábban mutatták a levegőben megfordulási reflexet (Sienkiewicz és mtsai, 1994).

Összességében tehát a rágcsálók embrionális és magzati fejlődésére nincs igazán ártalmas hatással az 50-60 Hz-es, szinuszos ELF elektromágneses expozíció, mindössze kisebb csontrendszeri eltérések voltak kimutathatók egyes kísérletekben.

A reprodukciós képességre irányuló vizsgálatok sem mutattak szignifikáns eltérést a kezelt és a kontroll állatok között. Chung és mtsai (2005) az F1 nemzedék hímjeinek fertilitását és spermatogenezisét vizsgálva egyik változóban (anogenitális távolság, testis tömege, testis szövettani vizsgálata, spermiumszám, napi spermiumprodukció, spermium motilitása, a spermium morfológiája, reprodukciós kapacitás) sem találtak eltérést. F1 nőstények vizsgálata (Rommereim és mtsai, 1990) szintén nem mutatott eltérést, a terhesség lezajlásában nem történt semmiféle zavar. Nem találtak változást az EMF hatására a reprodukcióban, sem kedvezőtlen hatást az F2 nemzedék embrionális és magzati fejlődésére (Chung és mtsai, 2004), egerek pároztatás előtti kezelése sem vezetett a terhesség rendellenes lezajlásához, rendellenes embrionális és magzati fejlődéséhez. (Ohnishi és mtsai, 2002).

Posztnatális fejlődésre gyakorolt hatás

A posztnatális fejlődésre sem mutatták ki jelentős hatását az ELF-EMF-nek, reflexek kialakulásánál csupán a levegőben megfordulás (air righting) reflex korai megjelenését mutatták ki elektromágneses kitettség következtében (Sienkiewicz és mtsai, 1994), illetve abban az esetben, ha az alutápláltság elektromágneses expozícióval párosult, a kezelt patkányok minden vizsgált reflexet (fogóreflex (palm grasp), hasrafordulás (righting reflex), szél elkerülés (cliff avoidance), negatív geotaxis, hang kiváltotta megrezzenés (auditory startle), levegőben megfordulási (free-fall righting) reflex) késett (Anselmo és mtsai, 2006). Canedo és mtsai (2003) szerotoninszintet születéskor, 15 és 21 naposan vizsgálva arra jutottak, hogy a szerotoninszint a kezelt állatoknál nagyobb, mint a kontroll állatoknál.

A kölyökkori, hosszú távú expozíció feltételezésünk szerint átmeneti változást okozhat a szervezetben, ami viselkedés szinten megjelenhet, de hosszú távú hatása nem mutatható ki.

Vagyis az ELF-EMF hatására ún. nem-specifikus egészségproblémák kialakulását feltételezzük.

Kognitív teljesítményre gyakorolt hatás

Az irodalomban fellelhető adatok rövid távú EMF elektromágneses expozíció emberek kognitív teljesítményére gyakorolt hatásáról számolnak be, mely vizsgálatok azonban ellentmondásosak, ahogy azt Crasson összefoglaló cikkében is olvashatjuk. (CRASSON, 2003). A talált szignifikáns eredmények a kezelt és kontroll csoportok között kis mértékűek és átmenetiek voltak. A humán kognitív teljesítőképességet többféle tesztel vizsgálták, és többféle változót néztek. Podd és mtsai látási időtartam diszkriminációs tesztben (visual duration discrimination task), majd ezt követően felismerési emlékezet tesztben (recognition memory task) nézték az 50 Hz-es, 100 μ T-ás EMF hatását közvetlenül expozíció után, vagy egy bizonyos idő elteltével. Korábbi vizsgálataik során nem találtak hatást a reakcióidőre. Az említett vizsgálatukban azonban az EMF-nek késleltetett hatása volt a memóriára, ami a felismerés pontosságának csökkenésében nyilvánult meg (PODD és mtsai, 2002). Egy másik kutatócsoport 9 perces, 50 Hz-es, 100 μ T-ás expozíció után végeztette el a kényszerített választás (forced-choice), és időtartam-diszkriminációs tesztet (duration-discrimination task) a kísérleti alanyokkal. A reakcióidőt, a jó válaszok százalékát, illetve a vérnyomást és a pulzust mérték tesztek előtt és után. A legnehezebb szinteknél a reakcióidő szignifikáns csökkenését tapasztalták. A jó válaszok százalékát illetve a kardiovaszkuláris teljesítményt nem befolyásolta az elektromágneses expozíció (WHITTINGTON és mtsai, 1996). Vizsgálták a zajjal társított 50 Hz-es, 1 mT-ás EMF hatását is. Az egy órás expozíció alatt a figyelmet, érzékelést, memóriát vizsgáló teszteket töltötték ki a kísérleti alanyok, és egy pszichológiai kérdőívet. A zajjal társított EMF-fel kezelt csoport rosszabb teljesítményt nyújtott minden tesztben, mint a kontroll, vagy a csak zajjal kezelt csoport (TRIMMEL és SCHWEIGER, 1998). Delhez és mtsai 20 és 400 μ T-ás, 50 Hz-es EMF 65 perces expozíciójának hatását vizsgálták kognitív tesztekben (megosztott figyelem (divided attention), rugalmasság (flexibility), emlékezet-frissítés (memory-updating), idő érzékelés). Nem találtak hatást a kognitív teljesítményre (DELHEZ és mtsai, 2004). A kognitív teljesítményt vizsgáló teszteket pszichológiai (kedélyállapot, éberség, tünetbeszámolók) és fiziológiai paraméterek (vérnyomás, pulzus) vizsgálatával is kiegészítették. Nem találtak szignifikáns eltérést az 50 Hz-es, 400 μ T-ás akut expozíció hatására egyik változó esetében sem (NEVELSTEEN és mtsai, 2007).

A kognitív hatások vizsgálata mellett nagyon sok kísérletben kutatták azt a jelenséget, hogy egyes emberek elektromágneses expozíció hatására vagy elektromos eszközök használata közben/után nem-specifikus tünetek jelentkezését tapasztalják. Bárdos megfogalmazása szerint (BÁRDOS, 2000) a nem-specifikus egészségproblémák nem járnak kimutatható szervi elváltozással, nem eredményeznek jelentős és/vagy tartós változást valamely élettani vagy labordiagnosztikai változó értékeiben, ezért orvosi módszerekkel nem azonosíthatók; mégis okoznak vagy okozhatnak panaszokat, tüneteket. A NSEP-k gyakran jelentkeznek enyhén kellemetlen meteszteziák (köztesérzések) formájában, amelyek nem fájdalmasak, de van kellemetlen karakterük. Röviden a 'diszkomfort' fogalommal lehetne őket jellemezni. A NSEP-k más formái nem is érzékelhetők közvetlenül, arra csak bizonyos jelekből következtetni lehet. Ilyen a diffúz teljesítménycsökkenés, az enyhe kognitív zavarok, a bizonytalan érzelmi állapotok és motivációs eltérések megjelenése, a figyelem kisfokú dekoncentráltága, bizonytalan viselkedési problémák, stb. Tünetei nem egyértelműen körülhatárolhatóak, többféle állapotban és kombinációban előfordulnak. Kialakulásukban szerepet játszhat az elektromágneses expozíción kívül az időjárás változás, mágneses zavarok, naptevékenység, infrahang rezgések, illetve lehetnek belső okai is, stressz állapotok, helyi funkcionális zavarok.

Az állatokon végzett kísérletek sem mutatnak jelentős eltérést a rövidtávon 50-60 Hz-es EMF-el kezelt és a kontroll csoportok között. Térbeli memória vizsgálatot végeztek C57BL/6 hím egereken nyolckarú labirintusban (SIENKIEWICZ és mtsai, 1998) közvetlenül a 45 perces 50 Hz-es, 7,5 μ T-ás, 75 μ T-ás vagy 0,75 mT-ás expozíció után. A közvetlenül a kezelés utáni vizsgálat során intenzitás függő, átmeneti teljesítménycsökkenést tapasztaltak, míg amikor a tesztet kezelés után 45 perccel végezték, ez nem volt megfigyelhető. Hasonlóképpen nem okozott emlékezetbeli zavart, ha 4 napon keresztül a tréning után kezelték őket az elektromágneses térrel. Vagyis az EMF hatása az egerek memóriájára átmeneti, reverzibilis, intenzitásfüggő. Patkányokon végzett vízilabirintus (water-maze) teszt eredményeképpen az úszás sebességének szignifikáns csökkenését tapasztalták 60Hz-es, 1 mT-ás akut EMF kezelést követően. Az eredmények alapján következtetésük az, hogy az EMF expozíció zavart okoz a térbeli memóriában és a kezelt állatok valószínűleg másfajta stratégiát alkalmaztak a tesztben, mint a kontroll társaik (LAI és mtsai, 1998). Pesic és mtsai patkányok különböző dózisú AMPH (d-amphetamine-sulphate) indukálta lokomotoros és sztereotíp aktivitásának EMF (50 Hz, 6mT, 15 perc) hatására történő változását vizsgálták porond tesztben (open-field). A fiziológiás sóoldattal kezelt állatoknál nem befolyásolta az

elektromágneses expozíció sem a lokomotoros, sem a sztereotíp aktivitást. Az EMF-fel kezelt és legkisebb dózisú AMPH-t (0,5 mg/kg) kapó csoportoknál a sztereotíp viselkedés szignifikánsan emelkedett, a legnagyobb dózisú (4,5 mg/kg) AMPH-val és EMF-fel kezelt csoportnál a sztereotíp aktivitás mellett a lokomotoros aktivitás is megemelkedett. Arra következtettek, hogy az akut EMF expozíció képes befolyásolni a motoros aktivitást az AMPH indukálta neurotranszmitter kiegyensúlyozatlanság mértékétől függően (PESIC és mtsai, 2004).

A kisfrekvenciás tartományú (50 Hz) nagyfeszültségű vezetékek, transzformátorállomások, háztartási gépek és villamos hajtású gépek környezetében alakuló elektromos tér jelenlétét elég nagy intenzitásnál érezni is lehet. A test-felület frekvenciafüggő feltöltődése következtében különösen a haj és a szőrzet között ébrednek finom remegést kiváltó erők, olykor bizsergő bőrérzést okozva (BOROS, 2003)

Hz-es kis mágneses térerő nem érezhető, de bizonyos értéken túl az emberi testben keltett örvényáramok ingerlik az izom- és idegsejteket. Mivel a mágneses sugárzás behatol a testbe, rákot, főleg leukémiát és genetikai károsodást előidéző hatást tulajdonítanak neki – ezideig bizonyíték nélkül (BOROS, 2003).

3.3 Elektroszenzitivitás (EHS), mint az elektromágneses kitettségnek tulajdonított tünetészlelés

Az elektromágneses túlérzékenység, mint új, egyelőre bizonytalan eredetű jelenség, Norvégiából és Nagy-Britanniából indult és az 1970-es évektől került a köztudatba. Azok, akik a környezetükben található elektromos eszközöket és mesterséges elektromágneses tereket okolják megromlott egészségi állapotuk miatt, önmagukat „elektromágnesesen érzékenyek” vagy másképpen „elektroszenzitívnek” címkézik (SZEMERSZKY, 2010). Az orvosok diagnózis felállításakor többnyire a betegek szubjektív beszámolóira hagyatkozhatnak, ezért olyan bizonytalan megítélni a probléma valódi háttértényezőit. Napjainkig nincsenek egyértelmű tudományos bizonyítékok arra nézve, hogy ezek a technológiák egészségkárosító hatásúak lennének, és nem ismert olyan általánosan elfogadott biológiai mechanizmus sem, amely ezeket a káros hatásokat közvetíthetné (BOROS et al. 2003). Ennek ellenére megszámlálhatatlan hír és történet kering a médiában a mobiltelefonok, mobiltelefon-bázisállomások, vezeték nélküli számítógépes hálózatok, digitális baba-figyelő rendszerek és egyéb elektromos források lehetséges egészségre

gyakorolt hatásairól, ami negatív irányban hangolja a közvéleményt és értelemszerűen nyugtalanítja és elbizonytalanítja az embereket az előbbi eszközökkel kapcsolatban. A speciális tünetek, tipikus reakciók és a megbízható etiológia hiánya egyelőre nem engedi meg EHS-diagnózis felállítását. Több országban, számos vizsgálat folyik a jelenség fiziológiai hátterének felderítésére. Ebben az összefüggésben vizsgálják pl. a tobozmirigy által termelt hormon, a melatonin szerepét (BOROS et al.2003).

EM forrás közelében legtöbbször erős fájdalomról, kimerültségről panaszkodnak, ami kerületi reakciókat, olykor munkaképtelenséget, lakóhely-váltást stb. eredményezhet. A tünetek skálája az idegrendszer legkülönbözőbb feszült, szorongásos állapotaitól, keringési,- emésztési,- koncentráció,- és alvászavarokon át rendszertelen fájdalmakig, bőrirritációkig és allergiás jelenségekig terjedhet (BOROS et al.2003).

Az EHS-problematika Európában több változatban és nagy ingadozásokkal jelenik meg (BERQUIST et al.,1997). Elsősorban Európa országaiban és Észak-Amerikában terjed. Míg Svédországban és Kaliforniában a lakosság 3, 2 %-a, Németországban a lakosság 10 %-a érez kellemetlen tüneteket elektromágneses expozíció (mobiltelefon-állomások) következtében, addig más országokban, pl. Iránban alig vannak elektromágneses túlérzékenységtől szenvedők (LEVALLOIS 2004). HILLERT és mtsai (2002) nem találtak összefüggést a végzettség/ szocio-ökónómiai státusz és az elektromágneses hiperszenzitivitás között. Észak Amerikában és Svédországban végzett vizsgálatból kiderült, hogy az EHS nagyobb részben idősebb, kevesebb jövedelmű, kisebb etnikumhoz tartozó populációra jellemző, valamint nagyobb a nők aránya is (LEVALLOIS 2004).

REA és mtsai (1991)száz, önmagát EHS-nek ítélt embert vizsgáltak. Közülük olyan 25 résztvevőt választottak ki, akik képesek voltak különböző térerősségű (70-2900 nT)és frekvenciájú (1-10 kHz), három perces elektromágneses expozíció detektálására, de nem reagáltak az ál-expozíciókra. A vizsgálat további részében őket hasonlították össze a 25 főből álló kontroll csoporttal. Míg a kontroll résztvevők közül senki nem észlelt tünetet, addig az EHS csoportból 16 résztvevő mutatott reakciót az elektromágneses tér jelenlétére. Az EHS résztvevők leggyakrabban fej-, fog- és izomfájdalomra, viszketésre, szemégésre, émelygésre panaszkodtak.

Kettős vak próbákban nem találtak szignifikáns eltérést EHS és kontroll résztvevők között sem akut, sem krónikus expozíció következtében (HAMNERIUS et al.,1994; ANDERSON et al.,1996; FLODIN et al., 2000). Nem találtak teljesítménybeli különbséget a két csoport között matematikai problémamegoldás során elektromágneses expozíció következtében

(LONNE-RAHM et al.,2000). MÜLLER (2002) 49 EHS és 14 kontrol részvételével végzett vizsgálatot. Nem talált eltérést a két csoport detekciós képessége között két perces (50 Hz, 100V/m, 4 μ T) expozíciók hatására. Ugyanakkor szignifikáns eltérést eredményezett a két csoport poolozott mintáinak kétmintás statisztikai vizsgálata. LYSKOW és mtsai (2001) 20 kontrollt és 20 EHS-es egyedet kezeltek EMF-vel (10 min, 10 μ T, 60Hz). Mérték bizonyos fiziológiai paramétereket valamint a matematikai problémamegoldó képességet. Nem találtak olyan különbséget, miszerint az expozíció befolyásolná akár az EHS, akár a kontroll csoportok reakcióját, teljesítményét. Ugyanakkor az EHS csoport szívfrekvenciájának és elektrodermális aktivitásának alapértéke különbözött a kontrolltól. Azt a konklúziót vonták le, hogy az EHS csoport fiziológiailag fogékonyabb lehet pszichológiai környezeti hatások érzékelésére.

Számos kutató felvetette, hogy az elektromágneses expozíció hatásának ítélt nem-specifikus tünetek kialakulásában biológiai mechanizmusok helyett pszichológiai tényezők játszhatnak elsődleges szerepet (RUBIN és mtsai, 2008). Kísérleti helyzetben a résztvevők nem voltak képesek megkülönböztetni a valódi és a vélt EM expozíciót, és a vélt expozíció során éppolyan valószínűséggel számoltak be tünetekről, mint a valós expozíció alatt. A tünetképzés valószínűségét azoknál az embereknél találták nagynak, akik hajlamosak negatív hangulatok, érzelmek megélésére (VAN DEN BERGH, 2002), illetve akik egyébként is aggódnak az elektromágneses terek egészségre gyakorolt hatásai és általában a modern, urbanizált életmóddal együttjáró káros hatások miatt (PETRIE, 2005). Sőt, a kulturális és szociális környezet – pl. a média és a közhiedelem - által az EM terekkel kapcsolatban keltett aggodalmak és negatív elvárások önmagukban is tünetképzőkké válhatnak (nocebo-hatás).

4. Célkitűzéseink

Mivel EMF expozíció hatására sok ember olyan nem-specifikus tüneteket észlel, melyek esetében nem eldöntött, hogy az EMF biofizikai hatása okozza-e, avagy pszichofiziológiai eredetűek, kísérleteink első részében az 50 Hz-es, 500 μ T-ás elektromágneses tér szervezetre gyakorolt és viselkedést befolyásoló hatását hivatottak modellezni viselkedéses tesztrendszerünkkel. Humán kísérletes vonalon az elektromágneses mezők feltételezett egészségkárosító hatásának pszichés eredetét vizsgáltuk 50 Hz, 500 μ T intenzitású

elektromágneses detekciós próbákkal, kérdőívekkel. Patkányos kísérleteinkben az a hipotézisünk, hogy az EMF kisebb mértékben gyakorol biofizikai hatást a szervezetre, idegrendszerre. Bár in vitro és elektrofiziológiai kísérletekben bizonyították, hogy az ELF-EMF expozíció képes megváltoztatni számos sejtszintű változót (ioncsatornák, receptorok működését), valamint, hogy az alacsonyfrekvenciás teret a sejtek membránja leárnýékolja, így az a szervezetre gyakorolt hatását mindenekelőtt az ingerlékeny membránokon fejt ki, mégis az elektromágneses terek viselkedést módosító hatásait vizsgáló tanulmányokban kevésbé bizonyított az ELF-EMF biofizikai hatása. Nem mutatható ki konzisztens viselkedésváltozás, mely magyarázható a szervezet kompenzációs mechanizmusaival és/vagy a hatások gyenge, bizonytalan mivoltával, illetve az egyedi viselkedés nagy változékonysága is szerepet játszhat. Mind a magzatkori, mind a kölyökkori kezelés hatását néztük a felnőttkori viselkedésre. Viselkedéses tesztek közül általános aktivitást, helyzeti szorongást (emelt-keresztállás teszt) és társas interakciót vizsgáló tesztet (szociális elkerülés teszt) végeztünk el. Humánkísérletünkkel az elektromágneses mezőnek tulajdonított egészség problémák feltételezett pszichológiai eredetét voltunk hivatottak igazolni. Feltételeztük, hogy az elektromágneses érzékenység háttérében a megnövekedett, környezeti és kulturális hatásokból eredeztethető aggodalmak és negatív elvárások bizonyultak a fő hajlamosító tényezőnek.

A hipotézisünk az volt, hogy:

- az 50 Hz-es, 500 μ T-ás elektromágneses tér nem befolyásolja a viselkedést
- a magzatkori elektromágneses expozíció nincs hatással a felnőttkori viselkedésre
- a kölyökkori hosszabb időtartamú kezelés hatása tartós változást nem okoz a viselkedésben
- az elektrohiperszenzitivitás fő hajlamosító tényezői az aggodalmak, negatív elvárások
- az önmagukat EHS-esnek ítéelő emberek nagyobb fokú aggodalmat mutatnak az elektromágneses teret gerjesztő eszközök vélt egészségkárosító hatásai miatt
- az önmagukat EHS-esnek ítéelő emberek több testi tünetet észlelnek elektromágneses expozíció következtében

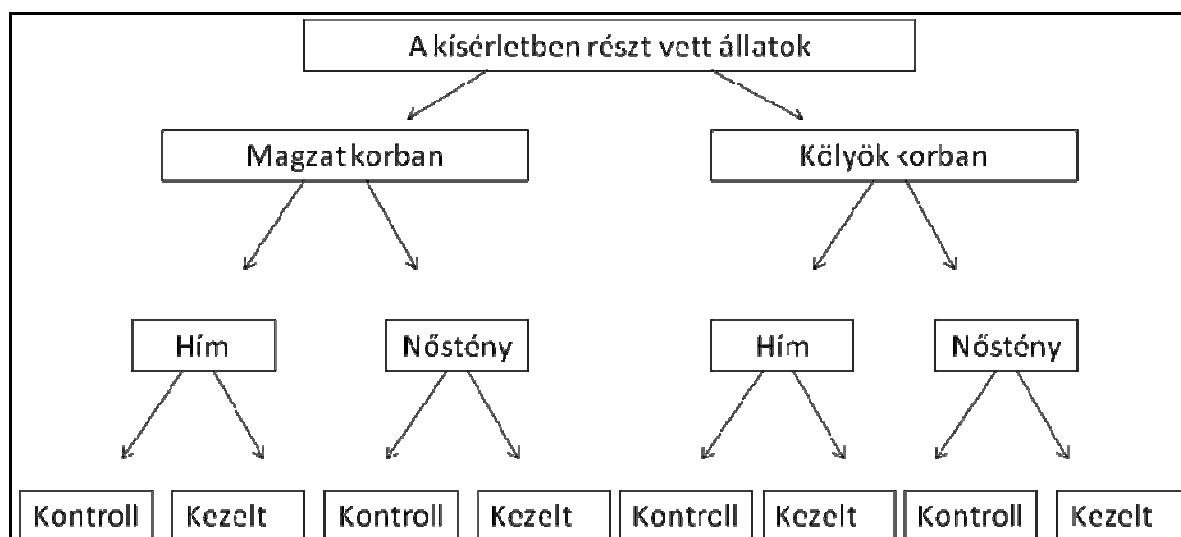
5. Anyag és módszer

5.1. Az állatkísérletes modellrendszerrel végzett vizsgálat

5.1.1 Kísérleti állatok

Mind a magzat,- mind az embrionális korban kezelt, viselkedés tesztekben részt vett állatok Wistar törzsbe tartozó patkányok voltak. A pároztatott nőstényeket kettesével tartottuk, szülés előtt pár nappal külön dobozba helyeztük őket. Fordított ciklust alkalmaztunk (fényperiódus: 19.00-07.00), így az állatokat az aktív periódusukban tesztelhetjük. Csapvíz és rágcsálótáp *ad libitum* elérhető volt számukra.

A magzatkorban kezelt állatok elektromágneses expozíciója a vemhesség 2. hetében, 7 napon (168 órán) át zajlott. A kölyökkorban kezelt állatokat a születésük 4.hétén vetettük alá elektromágneses expozíciónak, amely szintén 7 napon (168 órán) keresztül zajlott. Mindkét csoport esetében az elválasztás utáni negyedik héten kezdtük elvégezni a teszteket. Egy állat mindhárom általunk alkalmazott viselkedéstesztben részt vett pár napos időintervallumokkal a tesztek között, melyeknek sorrendje minden esetben ugyanaz volt.



4.1.1. ábra. A kísérletekben résztvevő állatcsoportok (magzat korban kezelt hím, nőstény illetve kölyök korban kezelt hím, nőstény csoportok)

5.1.2. Kezelés

A kezeléshez alkalmazott 50 Hz frekvenciájú elektromágneses teret ún. Helmholtz tekercsrendszerekkel állítottuk elő, melyek a homogén mágneses terek gerjesztésének leggyakoribb eszközei. Két darab, egymással párhuzamosan és egytengelyűen, rádiusznyi távolságra elhelyezett, egyenlő geometriájú és villamos szempontból is megegyező paraméterű, kör alakú tekercsből állnak, melyekben azonos nagyságú és irányú áram folyik. Ezen két tekercs között, az általuk határolt henger alakú térben, a mágneses tér csaknem homogén. A kezelés ideje alatt mind a kontroll, mind a sugározott állatokat a Helmholtz tekercsrendszerek belsejében műanyag dobozokban hármával tartottuk, egy elsötétített szobában, ahol fordított fény-sötét ciklust állítottunk be. A kezelés alatt a dobozokban forgács volt, az állatok élelemmel és vízzel voltak ellátva. Az állatokat a kezelés alatt kétnaponta átalmoztuk, vízzel és élelemmel láttuk el. A doboz tetejére kilyuggatott plexitáblát helyeztünk. Az állatok tömegét kezelés előtt és után megmértük.

5.1.3. Kísérleti eljárás és kísérleti berendezések

5.1.3.1. Emelt-keresztpalló teszt

(Elevated Plus Maze) A kísérletet Pellow szerint végeztük (PELLOW és mtsai 1985). A vizsgálathoz a talajtól 50 cm magasra megemelt, 100 cm hosszú és 15 cm széles karokkal rendelkező, fa padlózatú keresztlabirintust használtunk. A kereszt két szemben lévő karja a hosszanti oldalain és a végén 40 cm magas fekete plexifallal rendelkezik, csak a kereszt középső, 10x10 cm-es része felé nyitott. A másik két, egymással szemben lévő kar nyitott. A teszt alapja, hogy az állatban új környezetbe kerülve konfliktus alakul ki. Az új környezet a felderítési, expozíciós késztetést növelné az állatban, ugyanakkor az új környezet félelmet, helyzeti szorongást is kivált, ami így ellensúlyozza a felderítő aktivitást. A helyzeti szorongást tovább fokozza a magasságtól való félelem is. Ez a konfliktus úgy nyilvánul meg az állat viselkedésében, hogy a zárt karokat nagyobb mértékben deríti fel, mint a nyílt karokat (SALUM és mtsai 2000). A nyílt karoktól való félelem abból fakad, hogy a patkányok járatlakó állatok, így szívesebben tartózkodnak zárt terekben. Megfigyelték, hogy szorongáscsökkentő szerek hatására megnőtt a nyílt karban történő tartózkodás ideje, ez szorongást növelő szerek hatására csökkent. Ez alapján a nyílt karokban történő tartózkodásszorongáshoz köthető viselkedésemnek tekinthető (PELLOW és mtsai 1985). A

motoros aktivitás jellemzésére egy másik jellegzetes viselkedés elemet, a zárt karokba történő belépések számát szokták használni. Az eddigi kísérletek azt bizonyítják, hogy ezt nem befolyásolja szorongás. A szorongás jellemzésére szolgáló másik viselkedés elem, a középső zónából történő kitekintés, amikor az állat hátsó lábai még a zárt karban vagy a középső zónában vannak. Ez elkülöníthető a nyílt karok felderítésétől, így a kitekintés, mint kockázat felderítő viselkedés elem, önálló viselkedéselemnek tekinthető (CRUZ és mtsai1994).

Az állatokat a kísérlet kezdete előtt fél órával a kísérlet helyszínére vittük, hogy legyen idejük megnyugodni, a szállítás és az új környezet okozta stressz ne befolyásolja viselkedésüket. A teszt helyéül szolgáló szobában az ablakokat elsötétítettük. A labirintust egy vörös fényt adó lámpa világította meg, egyéb fény a helyiségben nem volt. A teszt során az állatokat a középső zónába helyeztük, majd magukra hagytuk őket. A teszt csukott ajtók mögött zajlott, hogy az esetleges zajforrásokat mérsékeljük. Minden állatot 5 percig teszteltünk, viselkedésükről videófelvételt készítettünk a keresztpalló fölé helyezett kamera segítségével, amit utólag számítógépes programmal (JWatcher) értékeltünk ki. A berendezést minden állat után alkoholos papírvattával kitakarítottuk, hogy az esetleges szagok ne befolyásolják viselkedésüket.

Az 5 perc mérési idő alatt a következő változókat mértünk:

- Szorongás jellegű viselkedésváltozók¹:
 - zárt karban tartózkodás időtartama
 - középben tartózkodás időtartama
 - középre lépés gyakorisága
 - zárt karból történő kitekintés időtartama
 - nyílt karban tartózkodás időtartama
 - nyílt karba történő kilépések gyakorisága
 - nyílt karról történő letekintések időtartama
 - nyílt karról történő letekintések gyakorisága

¹Mindhárom, általunk alkalmazott tesztben a viselkedési változók aktivitás illetve szorongás jellegét faktoranalízis (főkomponens analízis) segítségével vizsgáltuk és állapítottuk meg, melyet az összes állaton (N=105) végeztünk el.

- Aktivitás jellegű viselkedésváltozók:

- középre lépések gyakorisága
- zárt kari belépések gyakorisága
- kitekintések gyakorisága

5.1.3.2. Az általános aktivitás mérés

A laboratóriumi rágcsálók mozgási aktivitásának folyamatos regisztrálására és valós idejű kiértékelésére szolgáló motimetert (Experimetria, Budapest) alkalmaztuk az állatok általános aktivitásának mérésére. A berendezés a mozgásokat több sorban elhelyezett, nagy felbontású infra LED térrács segítségével detektálja. A berendezés virtuálisan zónákra osztható (2x2-től 10x10-ig). A rendszer méri az egyes térrészekben való tartózkodás idejét, illetve a belépések számát is. Az egyes mozgásformák előfordulási számát, illetve azok összsidőtartamát egyaránt rögzíti a program. A rögzített adatok különböző Windows alkalmazások számára felhasználható formában exportálhatók (pl. Excelbe). A vizsgálati teret képező ketrecen elhelyezett infra dióda térrács vezérlését és az adatok kiértékelését egy speciálisan erre a célra tervezett DSP elektronika végzi, ami lehetővé teszi a valós idejű mozgáselemzést max. 100-msec időbeli felbontással. Az open-field tesztbeli viselkedést befolyásolja a genetikai variabilitás, a nem, a közelmúltbeli élmények, az open-field megvilágítottsága. Az erős fény averzív stimulus, így növeli a szorongáshoz köthető viselkedéselemek számát.

Mivel a patkányok éjszakai állatok, nappal alszanak, így nem szeretik az erősen megvilágított területeket, sem a széles nyílt tereket, ezért szívesebben tartózkodnak a fal mentén. Ezt a jelenséget nevezzük thigmotaxisnak (BOUWKNECHT és mtsai 2007). Az állatnak szorongáscsökkentő szert adva, csökken a fal mellett tartózkodás ideje, ami azt bizonyítja, hogy ez a viselkedés elem szorongáshoz kötött (TREIT és FUNDYTUS 1988).

Az aktivitás mérés előtt fél órával bevittük az állatokat a kísérlet helyére, így az állatok tesztelése egy számukra már nem teljesen ismeretlen környezetben történt. Hogy elkerüljük az erős fény szorongásnövelő hatását, a berendezést vörös fényt adó égővel világítottuk meg.

A teszt ideje 10 perc volt, a berendezés 10 percen keresztül regisztrálta az állat viselkedését. Az alábbi viselkedés elemeket különítettük el:

Aktivitás jellegű változók:

- helyváltoztató mozgás időtartama és gyakorisága

- helyváltoztató mozgással megtett távolság
- helyben mozgás időtartama és gyakorisága
- mozdulatlanság időtartama és gyakorisága
- középső zónában töltött idő és a belépések gyakorisága²

Szorongás jellegű változók:

- ágaskodások időtartama és gyakorisága
- felugrások száma

²Esetünkben a negatív thigmotaxis (vagyis a motimeter doboz középső, nyílt részén tartózkodás) nem szorongás jellegű, hanem aktivitást tükröző viselkedéselemnek bizonyult. Ennek két oka lehet: 1. gyenge intenzitású vörös fényt alkalmaztunk, amely erősen lecsökkenthette az állatok helyzeti szorongását; 2. motimeterünk mérete kisebb az általában alkalmazott open field dobozok méreténél, ennek következtében középen tartózkodáskor valószínűleg kisebb volt az állatok nyílt tér érzete az irodalomban leírthoz képest.

5.1.3.3. Szociális elkerülés teszt (Social Avoidance)

A szociális elkerülés méréséhez használt dobozok 50x50 centiméteresek, magasságuk 50 cm, fekete plexiből készültek. Aljukat forgács borítja. A dobozokat 3 részre osztják a válaszfalak, az első rekeszt a középső résztől fekete plexifal választja el, az átjárást egy felfelé csúsztható, 5 cm széles ajtó biztosítja. Itt csak a vizsgált állat tartózkodhat, ha ebben a rekeszben van, el tud bújni úgy, hogy ne lássa az opponens patkányt. A második, középső rekesz (a társ-térfél) és az opponens-térfél között nincs átjáró. A vizsgálat előtt félórával az opponens-térfélre tettünk egy megtermett, idősebb (450-500 g), a vizsgált állattal megegyező nemű patkányt. A vizsgált állatot az első rekeszbe tettük, ahol három percig lezárt ajtó mellett aklimatizálódott a környezethez. 3 perc után az ajtót felhúztuk, így a vizsgált patkány a társ-félre léphetett. Viselkedését 5 percig követtük. A vizsgálati helyiséget piros fény világította meg, ember csak az ajtó felhúzásakor tartózkodott a szobában. Az állatok viselkedéséről videófelvétel készült, amit utólag elemeztünk. A videokamerát a tesztdoboz fölé erősítettük. Az elemzés során mért viselkedés elemek: - az első társ-térfélre lépés latenciaideje

- a társ-térfélre lépések gyakorisága és az ott tartózkodás időtartama
- a kapcsolatkeresés időtartama és gyakorisága

5.1.4. Elemzés, kódolás, értékelés

A Motimeter automatikusan rögzíti a viselkedéselemeket, melyekre a LED-ek megszakításából következtet. A program által nyert exp. kiterjesztésű fájlok elemzés után txt. formátumként menthetők, melyet táblázatkezelő programokban lehet kezelni. A rendszer speciális sajátossága az is, hogy az állatok mozgása a képernyőn grafikus formában követhető.

A többi tesztben mutatott viselkedést (emelt keresztpalló, szociális elkerülés), melyekről videófelvétel készült, a JWatcher V1.0 viselkedéselemző szoftverrel (<http://www.jwatcher.ucla.edu/>) értékeltük ki. A programban a különböző, általunk meghatározott viselkedéselemekhez billentyűkódok rendelhetők, majd az elemzés során az adott viselkedésem megjelenésekor a megfelelő billentyű megnyomása révén a szoftver rögzíteni képes az egyes viselkedésformák előfordulási számát, illetve azok összidőtartamát. Emellett igény szerint kiszámolja az egyes elemek átlagos időtartamát is, valamint az ezen paraméterekhez tartozó alap leíró statisztikát is (átlag, szórás, elemszám stb.).

5.1.5. Statisztikai elemzés

Viselkedéstesztjeink változóinak csoportosítása és a változók számának redukálása céljából faktoranalízist (főkomponens analízist) végeztünk a vizsgálat sorozatban részt vett valamennyi állaton (N=105), amely módszer segítségével lehetséges volt a közvetlenül nem megfigyelhető háttérváltozók meghatározása. A faktoranalízis modelljében a megfigyelt korrelált változók nem megfigyelhető hipotetikus háttérváltozók, ún. faktorok lineáris kombinációjaként írhatóak le. A faktoranalízis során megkerestük az eredeti változók egymással szorosabb korrelációban lévő csoportjait, ezeket a változókat egy faktorhoz tartozónak tekintjük.

Csoportonként normalitás vizsgálatot végeztünk Kolmogorov-Szmirnov próbával, hogy megállapítsuk a változók eloszlása normális-e vagy sem. Ezek után standardizáltuk az adatokat (és a továbbiakban az egyes adatokhoz tartozó, teljes mintára (N=105) számolt ún. 'Z-score'-okkal dolgoztunk). Ennek oka az volt, hogy a viselkedési változóink értékei egyes esetekben több nagyságrendben különböznek (pl. megtett távolság – gyakoriságok - illetve időtartamok), ami – mivel az ANOVA varianciákkal dolgozik - torzítást eredményezne az varianciaanalízis során. Az egyes kontroll-kezelt csoportpárok viselkedésének összehasonlítását tesztenként kétszemponos kevert ANOVA-val végeztük (viselkedési

változók (ismétléses dimenzió) x kezelés), majd Bonferroni post-hoc tesztet alkalmaztunk az egyes viselkedési változókra gyakorolt kezelési hatás vizsgálatára.

Végül az összes csoport valamennyi állatát összevonva, többszemponos kevert ANOVA-t használtunk a kezelés lehetséges hatásának - a nagyobb elemszám révén történő - kieroősítése céljából. A független változók az állatok neme (hím vagy nőstény), a kezelés megléte (kontroll vagy elektromágneses expozíciónak kitett), és a kezelés időszaka (magzatkorban vagy kölyökkorban) voltak. A viselkedési változókat ismétléses dimenzióként definiáltuk.

Valamennyi statisztika próbában a $p < 0,05$ értéket fogadtuk el szignifikánsnak. A 0,051 és 0,080 közötti p értékeket trendként szerepeltettük. A számításokat a SPSS 17.0 és GraphPad Prism 5.0 statisztikai programok segítségével végeztük.

5.2. Humán mintákon végzett vizsgálatunk

5.2.1. Résztvevők

Az elektroszenzitivitás kísérletes vizsgálatában két független minta, önmagukat elektroszenzitivnek tartó (továbbiakban: *elektroszenzitiv*), valamint önmagukat nem elektroszenzitivnek tartó (továbbiakban: *nem elektroszenzitiv vagy kontroll*) különböző életkorú, nemű, végzettségű emberek vettek részt. A kontroll mintát 42 fő alkotta (18-62 évesek, átlag életkor: 29,85 év, S.D.=10,55, 47,61% férfi). Az elektroszenzitiv minta 30 főből állt (19-45 évesek, átlag életkor: 26,90 év, S.D.=8,96, 40,62 % férfi). A kísérleti részvétel minden esetben önkéntesen történt, az alanyok személyiség jogainak védelmét a kérdőívek anonimitásával biztosítottuk. A résztvevők a közreműködésért 3000 Ft ellenértéket kaptak.

5.2.2. Kísérleti berendezés és a kísérleti procedúra

A vizsgálatokat az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karának Élettani és Neurobiológiai Tanszékén végeztük. A vizsgálat mind felépítése szempontjából, mind etikai vonatkozásban követte a vonatkozó jogszabályokat, és az 'Eötvös Loránd Tudományegyetem Pedagógiai és Pszichológiai Kar Kutatásetikai Bizottság' engedélyének

birtokában zajlott. A kísérleti berendezés egy Helmholtz-tekercs volt, mely két darab, egymással párhuzamosan és egytengelyűen, rádiusznyi távolságra elhelyezett, egyenlő geometriájú és villamos szempontból is megegyező paraméterű, kör alakú tekercsből áll, melyekben azonos nagyságú és irányú áram folyik. Ezen két tekercs közé kellett a résztvevőknek kézfejükét helyezni a 20 db egyperces detekciós próba idejére. A berendezés fölé kis kamerát helyeztünk, annak érdekében, hogy biztosak lehessünk a vizsgálat hitelességében. A kamera a vizsgálat alatt csupán az alany kézfejét rögzítette, ezáltal személyiséggjogokat nem sértettünk. Az elektromágneses tekercs ki- és bekapcsoltsági állapotát egy, a kutatócsoportunk szakembere (Köteles Ferenc) által Java programnyelven írt számítógépes szoftver vezérelte. A 20 detekciós próba során a tekercs működési állapota véletlenszerűen váltakozott. A szoftveres vezéreltség révén sem a kísérletvezető, sem a résztvevők nem tudhatták, hogy folyik-e a tekercsekben áram, vagy sem, vagyis vizsgálatunk kettősvak volt.

A vizsgálat kezdete előtt a résztvevők általános tájékoztatást kaptak és felolvastuk a vizsgálat célját: *„Kísérletünkben arra keresünk választ, hogy léteznek-e olyan egyének, akik az átlagpopulációnál szignifikánsan jobban észlelik a hálózati frekvenciás (50Hz-es; elektromos vezetékekben futó és az elektromos készülékeket „meghajtó”, így a környezetünkben mindenhol jelen levő) elektromágneses terek jelenlétét, továbbá hogy ezen személyek különböznek-e pszichológiai sajátágaikban (bizonyos személyiségjellemzőik tekintetében), alap fiziológiai jellemzőikben, illetve az elektromágneses expozícióra adott élettani reakcióikban az átlagpopulációhoz képest.”*. Majd bemutattuk a kísérleti berendezést és a számítógépes szoftvert, valamint beleegyezési nyilatkozatot töltöttek ki az alanyok. Az instrukciók elhangzása után a kísérlet vezetője elhagyta a szobát. A résztvevőnek a vizsgálat első 20 percében a szoftver útmutatásainak megfelelően különbözőkérdőíveket kellett kitöltenie, majd a szoftver felszólítása után kezét a két elektromágneses tekercs közé helyezte és a szoftver által jelzett egyperces detekciós próbák után a billentyűzet segítségével rögzítenie kellett, hogy észlelt-e elektromágneses mezőt az egyes próbák során. A vizsgálat végül kérdőívvel zárult, melyben az elektromágneses tér hatására észlelt tünetekre kérdeztünk rá.

5.2.3. A vizsgálat során felhasznált kérdőívek

5.2.3.1. Elektroszenzitivitás

A résztvevők a képernyőn az elektroszenzitivitás definícióját olvashatták (*Sok ember panaszkodik kellemetlen tünetek (pl. enyhe fejfájás, émelygés, koncentrációs zavarok, szívdobogásérzés, stb.) jelentkezéséről olyankor, amikor elektromágneses térben tartózkodik (pl. elektromos használati eszközök, számítógépek, elektromos vezetékek közelében vagy mobiltelefonálás közben), mely alapján eldönthették, hogy elektroszenzitívnek ítélik-e magukat. Az Ön elektroszenzitívnek tartja magát?*)” kérdésre inkább igen vagy inkább nem választ adhattak. 5.2.3.2. Elvárások

A következőkben kérdést tettünk fel arra vonatkozóan, hogy milyen elvárásaik vannak magukkal szemben elektromágneses kitettség esetén: „*Mit gondol, a kísérlet során érez majd kellemetlen tüneteket az elektromágneses expozíció hatására?*” A résztvevők 5 fokú Likert-skálán (5: "egyáltalán nem", 4: "valószínűleg nem", 3: "talán", 2: "valószínűleg igen", 1: "biztosan") választhatták ki a rájuk jellemző elvárást.

5.2.3.3. Modern Egészségféltség skála (Modern Health Worries – MHW)

A következő oldalon az ún. Modern Egészségféltség skálát tüntettük fel, melyet a modern világ vívmányaival (pl. elektromágneses sugárzás, rovarirtószerek, élelmiszeradalékok, stb.) kapcsolatos aggodalmak felmérésére dolgoztak ki (PETRIE és mtsai 2001). A résztvevőknek 5 fokú Likert-skálán (5: "egyáltalán nem", 4: "kicsit", 3: "közepesen aggódom"), 2: "nagyon", 1: "rettenetesen") kellett jellemezniük, milyen mértékben aggódnak a veszélyforrás egészségkárosító hatása miatt.

Az MHW skála a következő tételeket tartalmazza:

1. Épületek rossz szellőzése
2. Szennyezett ivóvíz
3. Fluorozott ivóvíz
4. Védőoltások
5. Antibiotikumok túlzott használata
6. Mérgező vegyületeket tartalmazó háztartási tisztítószerek
7. **Mikrohullámú sütők szivárgó sugárzása**
8. Baktériumok elszaporodása a légkondicionáló berendezésekben
9. Gyógyszer-rezisztens baktériumok
10. Amalgámos fogtömések
11. Orvosi és fogorvosi röntgenezés
12. Levegőszennyezés

13. Zajszennyezés
14. Az ózonréteg elvékonyodása
15. Kipufogógázok
16. Egyéb környezetszennyezések
17. Rovarirtó permetezőszerek
18. Genetikailag módosított élelmiszerek
19. Élelmiszer adalékok
20. Rovarirtó-maradványok az élelmiszerekben
21. Antibiotikumokat tartalmazó élelmiszerek
22. Hormonok az élelmiszerekben
- 23. Mobiltelefonok**
- 24. Rádió adótornyok és/vagy mobiltelefon-bázisállomások**
- 25. Nagyfeszültségű távvezetékek**

Dolgozatomban kiemelten az elektromágneses teret gerjesztő eszközök, berendezések (mikrohullámú sütők szivárgó sugárzása, mobiltelefonok, rádió adótornyok és/vagy mobiltelefon-bázisállomások) miatti aggodalmakat vizsgáltam.

5.2.3.4. Detekciós próbák

A vizsgálat következő szakaszában 20 db egy perces detekciós próbára került sor, mely során az elektromágneses tekercs belsejében random módon váltakozott az erőtér jelenléte. Az expozíció nagysága nem haladta meg a biztonsági határértéket, a mágneses indukció értéke $B = 0,5 \text{ mT}$ volt. A vizsgálat ezen része körülbelül 45 percig tartott. A résztvevőknek el kellett dönteni, hogy adott detekciós próba alatt van-e jelen elektromágneses tér a tekercs belsejében. A választ a képernyőn megjelenő *igen* és *nem* gombok megnyomásával adták meg.

5.2.3.5. Tünetek észlelése

A detekciós próbákat követően egy kérdőív részeként 19 db testi tünetet soroltunk fel. A tünetlistát szakirodalmi adatok alapján állítottuk össze, a leggyakoribb elektromágneses expozíciónak tulajdonított központi idegrendszeri, érzékszervi, zsigeri és bőr tüneteket összeválogatva (pl. ELTITI és mtsai 2007). A résztvevőknek 4 fokú Likert-skálán (4: "egyáltalán nem", 3: "gyengén", 2: "határozottan", 1: "erősen") kellett megjelölni azt, hogy az adott tünetet milyen mértékben észlelték az elektromágneses expozíció következtében.

A következő tüneteket soroltuk fel:

1. égető érzés a bőrfelszínen
2. bizsergés
3. homályos látás
4. melegségérzet a kézfejen, karban

5. fejfájás
6. fájdalom az alkarban vagy kézfejen
7. viszketés
8. szédülés
9. fülzúgás
10. izzadás
11. heves szívverés
12. hideg tenyér
13. bőrfelszín melegedése
14. izomfeszülés az alkarban, kézfejen
15. kézremegés
16. szájszárazság
17. bőrirritáció
18. zsibbadás
19. Egyéb

5.2.4. Statisztikai elemzés

Csoportonként normalitás vizsgálatot végeztünk Kolmogorov-Szmirnov próbával, hogy megállapítsuk a változók eloszlása normális-e vagy sem. Kétmintás t-próbával hasonlítottuk össze a kontroll és az elektroszenzitív csoport elvárás-, modern egészségfeltés és tünetészlelés pontszámait, illetve a detekciós próbák során mutatott találati számaikat. Korrelációs elemzést alkalmaztunk annak vizsgálatára, hogy a vizsgált tényezők (elvárások, elektromágneses terekkel kapcsolatos aggodalmak (MHW), vélt elektroszenzitivitás és demográfiai változók (életkor, nem, végzettség)) közül melyekkel mutat összefüggést az elektromágneses expozíciónak tulajdonított tünetek száma és intenzitása. Valamennyi statisztika próbában a $p < 0,05$ értéket fogadtuk el szignifikánsnak. A szakirodalom alapján a 0,051 és 0,080 közötti értékeket trendként szerepeltettük. A számításokat a SPSS 17.0 és GraphPad Prism 5.0 statisztikai programok segítségével végeztük.

6. Eredmények

6.1 Az ELF-EMF expozíció viselkedésre gyakorolt hatásai állatkísérletes modellrendszerünkben

6.1.1. Az alkalmazott tesztek változóinak értelmezése és kapcsolataik (faktoranalízis)

A három teszt (motiméteres aktivitásmérés (M), emelt keresztpalló (EPM), szociális elkerülés (SA)) összes változóján elvégzett faktoranalízis eredményeképpen két feltételezett

háttérváltozó kivonásakor az egyes változók a következő faktorsúlyokkal töltöttek a faktorokra:

Forgatott komponens mátrix

	Komponens	
	1	2
M: megtett távolság		.755
M: helyváltató mozgás időtartama		.870
M: helyváltató mozgás gyakorisága	.397	-.694
M: helyben mozgás időtartama		.691
M: helyben mozgás gyakorisága	.416	.448
M: mozdulatlanság időtartama	-.331	-.834
M: mozdulatlanság gyakorisága		-.529
M: ágaskodások időtartama	.535	-.417
M: ágaskodások gyakorisága	.427	
M: felugrások száma	.440	
M: középső zónában töltött idő		.736
M: középső zónába lépések száma		.765
EPM: zárt karban töltött idő	-.565	
EPM: középen töltött idő	.434	
EPM: középre lépések száma	.620	.361
EPM: kitekintések ideje	-.585	
EPM: kitekintések száma		.315
EPM: nyílt karban töltött idő	.926	
EPM: nyílt karba lépések száma	.893	
EPM: letekintések ideje	.827	
EPM: letekintések száma	.889	
EPM: zárt karokba lépések száma		.340
SA: latenciaidő	-.728	
SA: középső rekeszben töltött idő	.769	
SA: középső rekeszbe lépések száma	.841	
SA: kapcsolatkeresés időtartama	.936	
SA: kapcsolatkeresés gyakorisága	.868	

6.1.1.1. ábra. A három viselkedéstezt egyes változóinak faktorsúlyai a feltételezett két háttérváltozón. *Módszer: Főkomponensanalízis. Forgatási módszer: Varimax Kaiser normalizációval. Rövidítések: M – motiméteres aktivitásmérés; EPM – emelt keresztállás teszt; SA – szociális interakció teszt. A 0.3-nél kisebb faktorsúlyokat nem jelöltük.*

Forgatott komponens mátrix

	Komponens	
	1	2
M: megtett távolság		.755
M: helyváltómozgás időtartama		.870
M: helyváltómozgás gyakorisága	.397	-.694
M: helyben mozgás időtartama		.691
M: helyben mozgás gyakorisága	.416	.448
M: mozdulatlanság időtartama	-.331	-.834
M: mozdulatlanság gyakorisága		-.529
M: ágaskodások időtartama	.535	-.417
M: ágaskodások gyakorisága	.427	
M: felugrások száma	.440	
M: középső zónában töltött idő		.736
M: középső zónába lépések száma		.765
EPM: zárt karban töltött idő	-.565	
EPM: középben töltött idő	.434	
EPM: középbe lépések száma	.620	.361
EPM: kitekintések ideje	-.585	
EPM: kitekintések száma		.315
EPM: nyílt karban töltött idő	.926	
EPM: nyílt karba lépések száma	.893	
EPM: lettekintések ideje	.827	
EPM: lettekintések száma	.889	
EPM: zárt karokba lépések száma		.340
SA: latenciaidő	-.728	
SA: középső rekeszben töltött idő	.769	
SA: középső rekeszbe lépések száma	.841	
SA: kapcsolatkeresés időtartama	.936	
SA: kapcsolatkeresés gyakorisága	.868	

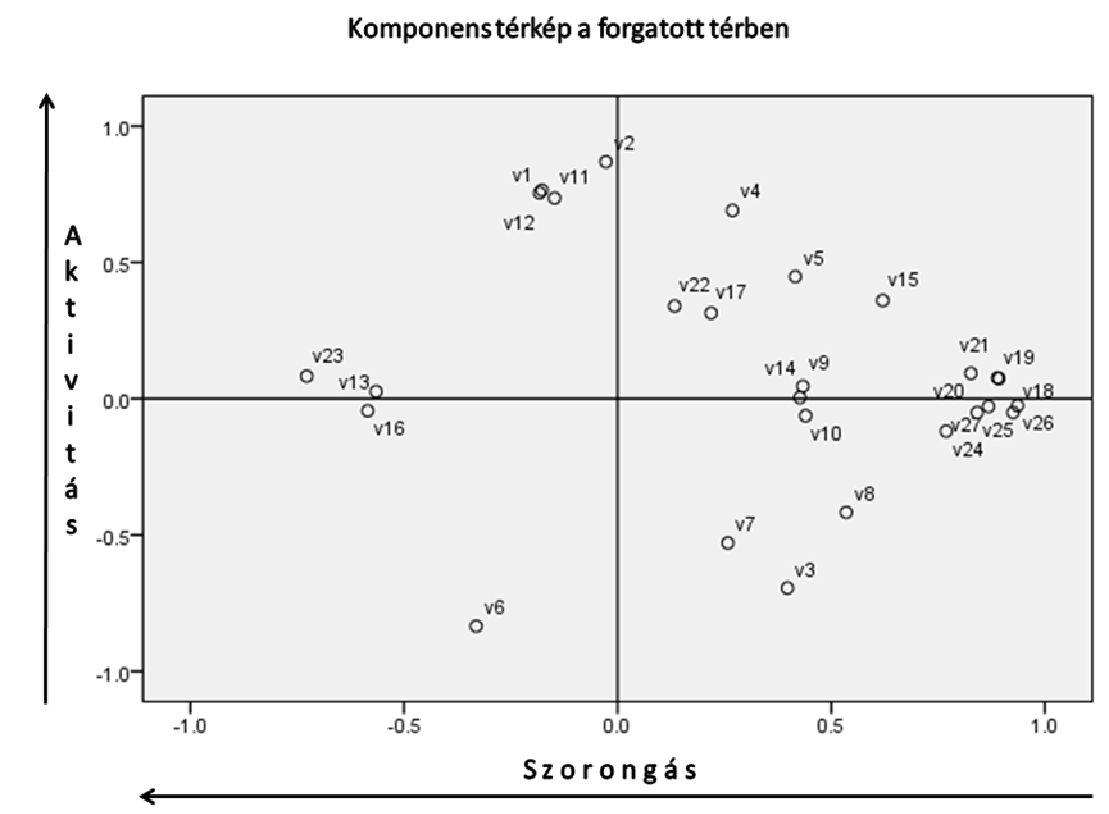
6.1.1.1. ábra. A három viselkedéstezt egyes változóinak faktorsúlyai a feltételezett két háttérváltozón. *Módszer: Főkomponensanalízis. Forgatási módszer: Varimax Kaiser normalizációval. Rövidítések: M – motiméteres aktivitásmérés; EPM – emelt keresztállás teszt; SA – szociális interakció teszt. A 0.3-nél kisebb faktorsúlyokat nem jelöltük.*

Látható, hogy az 1-es faktorra tölt a szociális interakció teszt valamennyi változója, és az emelt keresztpalló teszt változóinak többsége, különösen nagy faktorsúlyokkal a nyílt kari aktivitással kapcsolatos változók. Feltételezhető tehát, hogy az 1-es faktor a *szorongás* háttérváltozót reprezentálja, ahol a nagyobb faktorsúlyok kisebb szorongást tükröznek. Lényegesen kisebb súlyokkal, de itt látható néhány motiméterből származó változó is: ágaskodások ideje, gyakorisága, felugrások száma, illetve helyben mozgás gyakorisága, melyek nagyobb értékei ezek szerint szintén csökkent szorongást jeleznek.

A 2-es faktorra nagy faktorsúlyokkal tölt a motimeter szinte valamennyi változója, vagyis ez a faktor és a hozzá tartozó változók feltételezhetően az *aktivitás* háttérváltozót reprezentálják a tesztekben (itt a nagyobb faktorsúly nagyobb aktivitást jelöl). Látható, hogy kisebb mértékben az emelt keresztpalló három változója is bír aktivitás-jelleggel: a középre lépések száma, a kitekintések száma és a zárt karokba lépések száma. Utóbbit elméleti alapon már régóta használják a motoros aktivitás jellemzésére az emelt keresztpalló tesztben. Az irodalomban kockázatfelderítő magatartásként értelmezett zárt karokból történő kitekintések időtartama a faktoranalízis eredménye alapján esetünkben megnövekedett szorongást jelez (faktorsúlya: - 0,56).

A könnyebb átláthatóság érdekében, az emelt keresztpalló teszt változói közül csak a szorongás jellegűekkel, illetve a motimeterből csak az aktivitás-jellegűekkel dolgozunk a további elemzések során.

A 6.1.2. ábrán látható az elemzés során nyert komponens térkép, amely szemléletesen mutatja az egyes változók viszonyait.



6.1.1.2. ábra. A viselkedésváltozók faktortérképe. *Magyarázat:*

<i>Jelölés</i>	<i>Viselkedési változó</i>
<i>v1</i>	M: megtett távolság
<i>v2</i>	M: helyváltoztató mozgás időtartama
<i>v3</i>	M: helyváltoztató mozgás gyakorisága
<i>v4</i>	M: helyben mozgás időtartama
<i>v5</i>	M: helyben mozgás gyakorisága
<i>v6</i>	M: mozdulatlanság időtartama
<i>v7</i>	M: mozdulatlanság gyakorisága
<i>v8</i>	M: ágaskodások időtartama
<i>v9</i>	M: ágaskodások gyakorisága
<i>v10</i>	M: felugrások száma
<i>v11</i>	M: középső zónában töltött idő
<i>v12</i>	M: középső zónába lépések száma
<i>v13</i>	EPM: zárt karban töltött idő
<i>v14</i>	EPM: középen töltött idő
<i>v15</i>	EPM: középre lépések száma
<i>v16</i>	EPM: kitekintések ideje
<i>v17</i>	EPM: kitekintések száma
<i>v18</i>	EPM: nyílt karban töltött idő
<i>v19</i>	EPM: nyílt karba lépések száma
<i>v20</i>	EPM: letekintések ideje
<i>v21</i>	EPM: letekintések száma
<i>v22</i>	EPM: zárt karokba lépések száma
<i>v23</i>	SA: latenciaidő
<i>v24</i>	SA: középső rekeszben töltött idő
<i>v25</i>	SA: középső rekeszbe lépések száma

v26	SA: kontaktuskeresés időtartama
v27	SA: kontaktuskeresés gyakorisága

6.1.2. Az elektromágneses kezelés hatása csoportonkénti bontásban vizsgálva

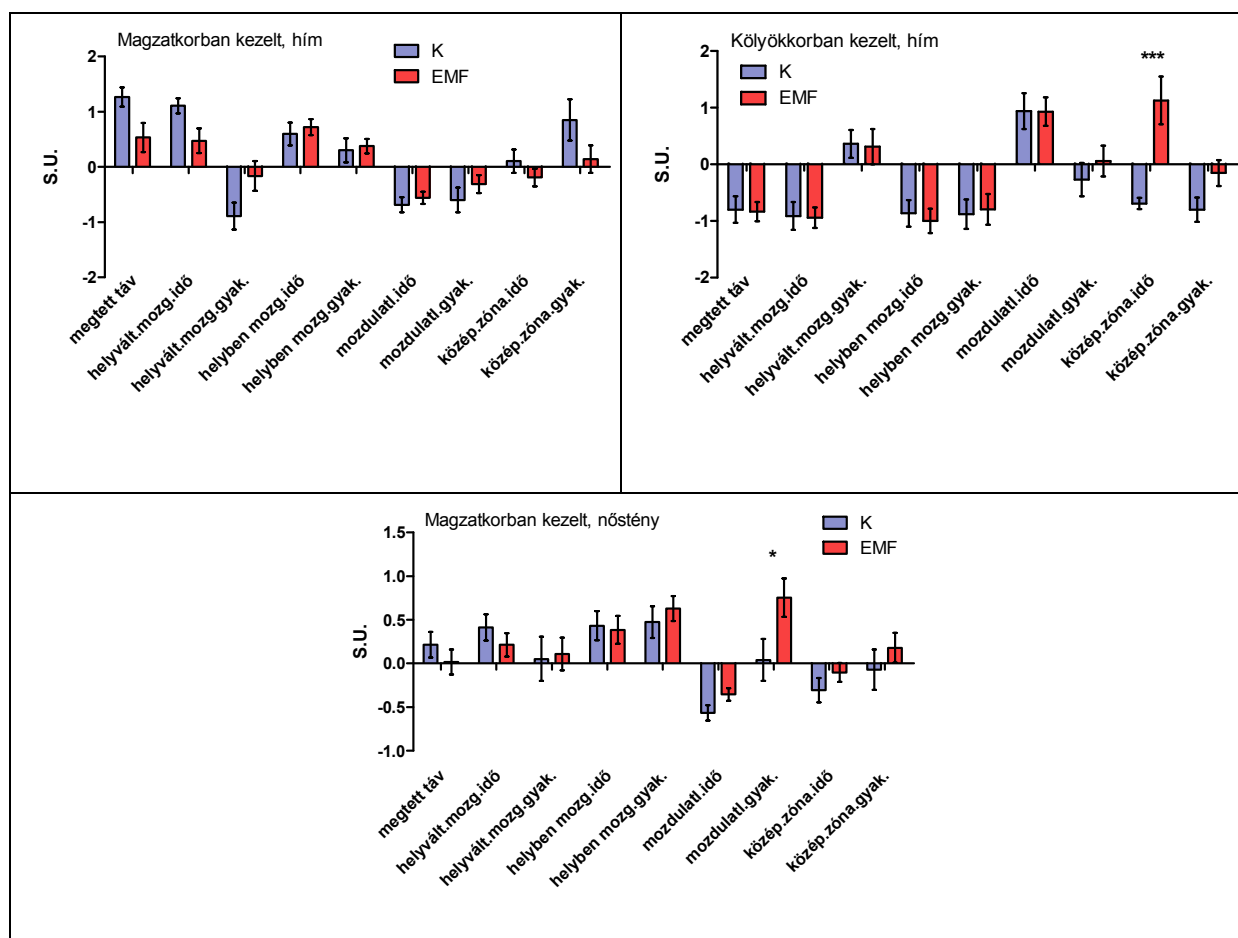
6.1.2.1 Az általános aktivitás mérése motimeterben

Csoport	Hatás	F	p
Magzatkorban kezelt, hím	kezelés	1,894	0,183
	interakció	5,394	0,030
Magzatkorban kezelt, nőstény	kezelés	2,346	0,137
	interakció	0,903	0,351
Kölyökkorban kezelt, hím	kezelés	2,971	0,096
	interakció	0,864	0,031

6.1.2.1.1. táblázat. A kezelés hatása az általános aktivitásra. Módszer: Kétszemponos kevert ANOVA.

Változók: a motimeter aktivitás jellegű viselkedés-változói (ld. Módszer fejezet).

Az általános aktivitást mérő tesztben csoportonként vizsgálva a kapott értékeket, a magzat és kölyökkorban kezelt hím állatok esetében találtunk szignifikáns interakciós hatást, továbbá az utóbbi esetében tendenciaszintű kezelés főhatást. Az egyes viselkedéselemek tekintetében, a Bonferroni post hoc teszt eredménye alapján, egyedül a kölyökkorban kezelt hím állatok esetében kaptunk szignifikáns eltérést: a mérődoboz középső zónájában töltött idő megnövekedett, ami az aktivitás növekedését jelzi. Ugyanakkor a magzatkorban kezelt hímek esetében a viselkedési változók kontroll csoporthoz viszonyított értékei inkább aktivitáscsökkenésre utalnak (kisebb a megtett távolság, a helyváltoztató mozgás időtartama és a középső zónába lépések gyakorisága is).



6.1.2.1.2. ábra. Az egyes viselkedéselemek gyakorisága és időtartama a lokomotoros aktivitást mérő tesztben.

Rövidítések: S.U. – sztenderdizált egység (standardized unit). * $p < 0,05$; *** $p < 0,001$

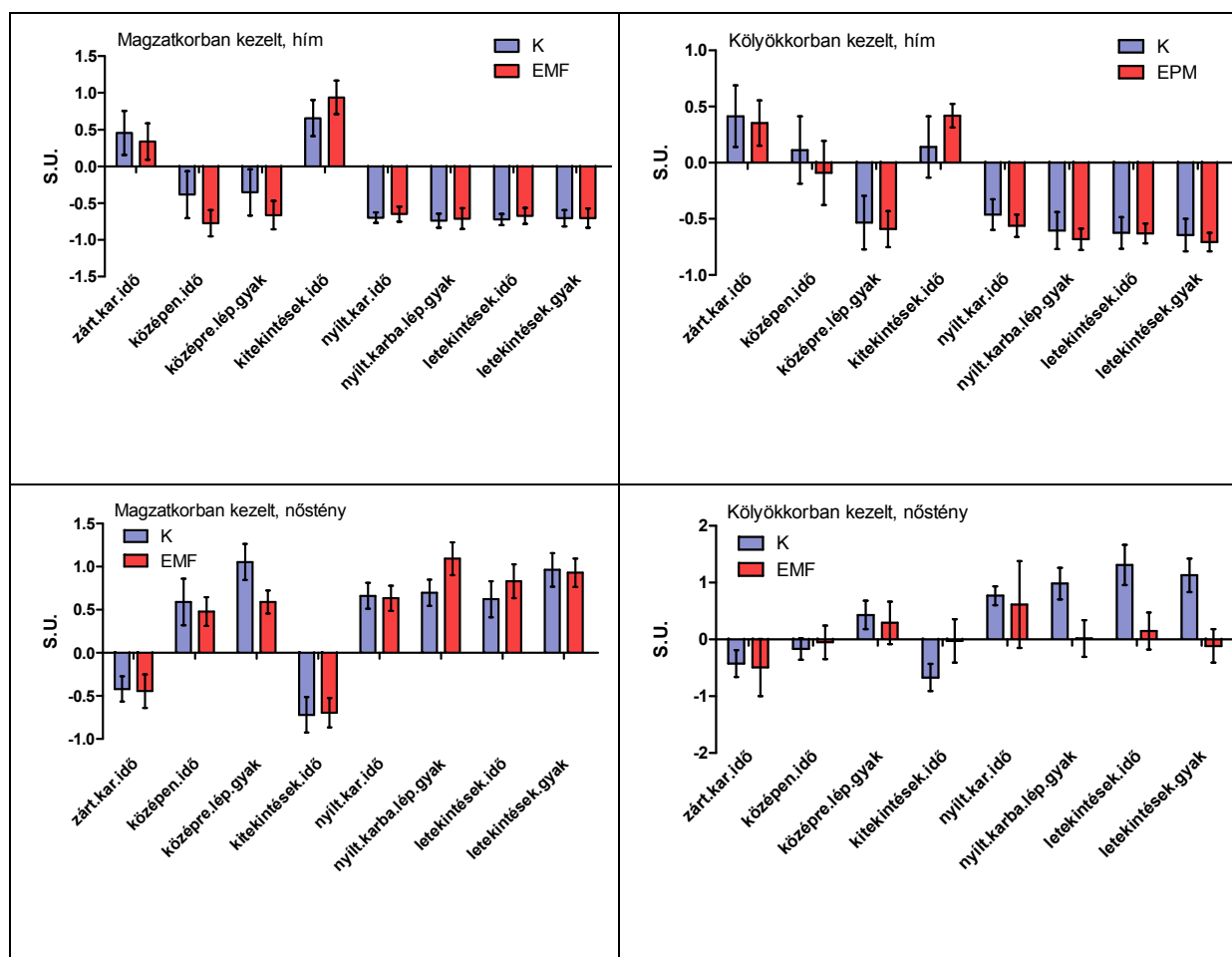
6.1.2.2. A helyzeti szorongás mérése az emelt keresztpalló tesztben

Csoport	Hatás	F	p
Magzatkorban kezelt, hím	kezelés	0,255	0,619
	interakció	0,568	0,537
Kölyökkorban kezelt, hím	kezelés	0,141	0,710
	interakció	0,078	0,914
Magzatkorban kezelt, nőstény	kezelés	0,001	0,972
	interakció	2,758	0,072
Kölyökkorban kezelt, nőstény	kezelés	4,394	0,051

	interakció	4,426	0,023
--	------------	-------	-------

6.1.2.2.1. táblázat. A kezelés hatása a helyzeti szorongásra. Módszer: Kétszempontos kevert ANOVA. Változók: az emelt keresztpalló teszt szorongás jellegű viselkedés-változói (ld. Módszer fejezet).

Az elektromágneses kezelés a hímek helyzeti szorongására nem volt hatással. A magzatkorban kezelt nőtények esetében az ANOVA tendenciaszintű interakciós hatást, míg a kölyökkorban kezelt nőtények esetében tendenciaszintű kezelés főhatást és szignifikáns interakciós hatást mutatott. A Bonferroni post hoc teszt az egyes viselkedésváltozók szintjén sehol nem jelzett szignifikáns különbséget a kontroll és kezelt csoportok között, azonban a kölyökkorban kezelt nőtények esetében a változások iránya nagyobb helyzeti szorongásra utal (a kitekintések időtartama nagyobb, míg a nyílt karról történő letekintések időtartama valamint a nyílt karra lépések és a letekintések száma kisebb). Ilyen irányú változás azonban csakis ebben a csoportban látszik, a másik három esetében nem.



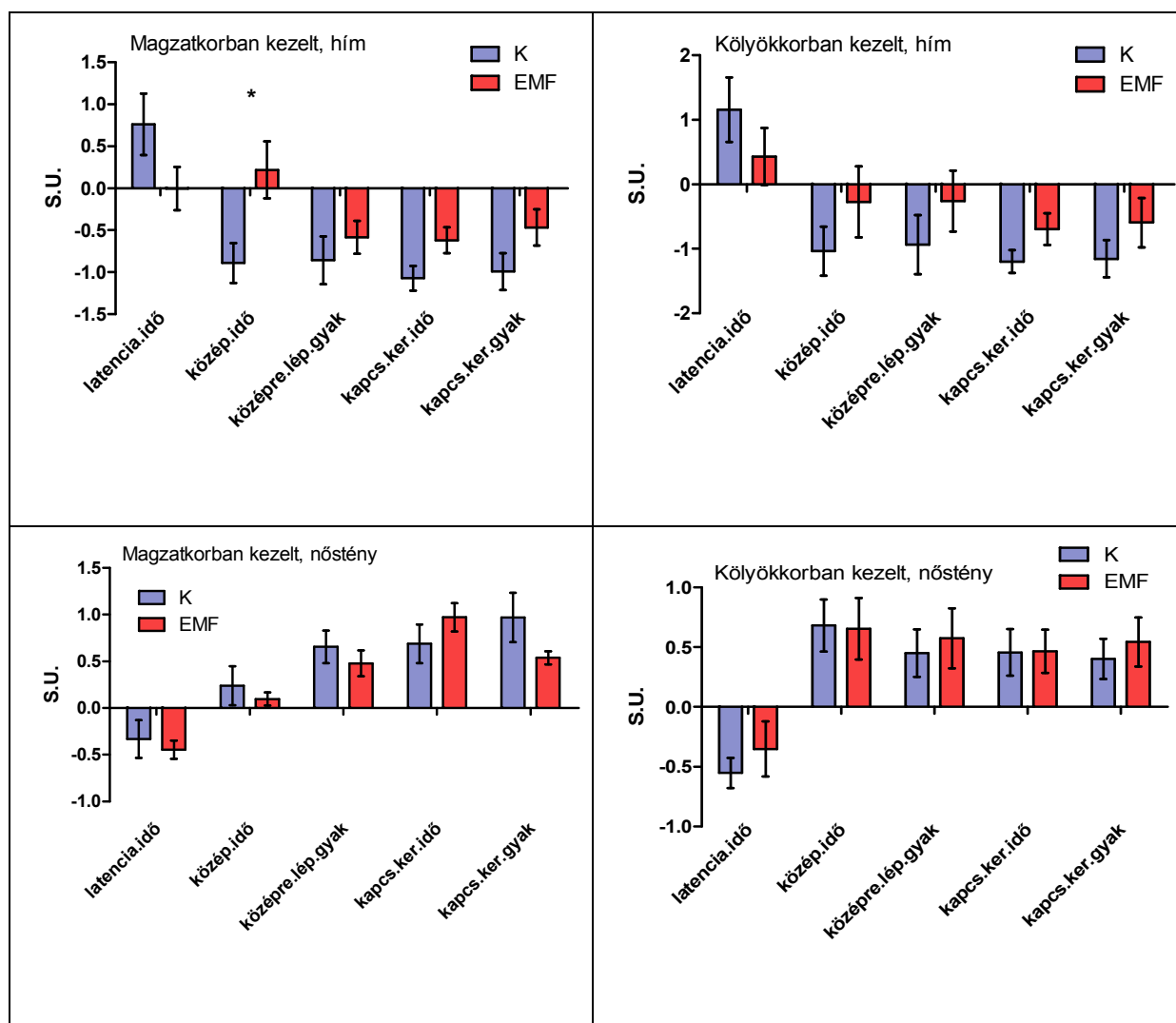
6.1.2.2.2. ábra. Az egyes viselkedéselemek gyakorisága és időtartama a helyzeti szorongást mérő emelt keresztpalló tesztben. Rövidítések: S.U. – sztenderdizált egység (standardized unit).

6.1.2.3. A szociális szorongás mérése a szociális elkerülés tesztben

Csoport	Hatás	F	p
Magzatkorban kezelt, hím	kezelés	3,593	0,071
	interakció	2,732	0,107
Kölyökkorban kezelt, hím	kezelés	1,738	0,212
	interakció	1,295	0,280
Magzatkorban kezelt, nőstény	kezelés	1,367	0,253
	interakció	3,045	0,085
Kölyökkorban kezelt, nőstény	kezelés	0,422	0,525
	interakció	0,254	0,668

6.1.2.3.1. táblázat. A kezelés hatása a szociális szorongásra. Módszer: Kétszemponos kevert ANOVA. Változók: a szociális elkerülés teszt valamennyi változója (ld. Módszer fejezet).

Az ANOVA egyik csoport esetében sem mutatott szignifikáns hatást, valamint az egyes viselkedéselemek szintjén sem voltak szignifikáns különbségek (egyetlen esetben csupán; ld. 6.1.2.3.2. ábra). A magzatkorban kezelt hím állatok tendenciaszinten nagyobb szociális aktivitást mutattak, mint a kontrollok (nagyobb volt a középső rekeszben töltött idő, valamint a kapcsolatkeresés időtartama és gyakorisága). Míg a magzatkorban kezelt nőstények esetében a tendenciaszintű interakciós hatás kisebb szociális aktivitást jelez (a kapcsolatkeresés gyakorisága csökkent). Vagyis az eredmények ebben a tesztben is ellentmondásosnak bizonyultak.



6.2.3.2. ábra. Az egyes viselkedéselemek gyakorisága és időtartama a szociális szorongást mérő szociális elkerülés tesztben. Rövidítések: *S.U.* – sztenderdizált egység (standardized unit). * $p < 0,05$.

6.1.3. A teljes mintán végzett többváltozós ismétléses ANOVA

6.1.3.1. Általános aktivitásra kapott eredmények

	A hatást befolyásoló tényezők	F	p
	kezelés megléte	3,884	0,052
	kezelés időszaka	26,534	0,000
	nem	0,126	0,723
Interakciós hatások	kezelés*kezelés ideje	5,175	0,026
	kezelés*nem	1,811	0,182

	kezelés ideje*nem		
	kezelés*idő*nem		

6.1.3.1.1. ábra

6.1.3.2 Emelt keresztpalló aktivitásbeli változóira kapott eredmények

	A hatást befolyásoló tényezők	F	p
	kezelés megléte	3,819	0,054
	kezelés időszaka	1,635	0,204
	nem	119,326	0,000
Interakciós hatások	kezelés*kezelés ideje	2,214	0,140
	kezelés*nem	1,483	0,226
	kezelés ideje*nem	4,138	0,045
	kezelés*idő*nem	2,617	0,109

6.1.3.2.1. ábra

6.1.3.3. Szociális elkerülés tesztben kapott eredmények

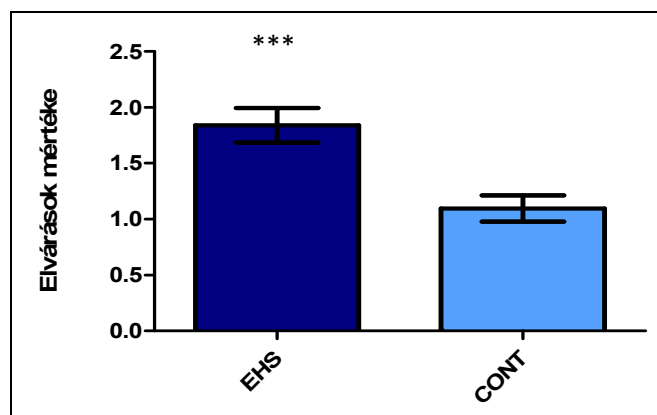
	A hatást befolyásoló tényezők	F	p
	kezelés megléte	3,962	0,050
	kezelés időszaka	0,129	0,720
	nem	99,584	0,000
Interakciós hatások	kezelés*kezelés ideje	0,561	0,456
	kezelés*nem	4,651	0,034
	kezelés ideje*nem	0,089	0,767
	kezelés*idő*nem	0,275	0,601

6.1.3.3.1. ábra

A teljes mintán (N=105 állat) végzett elemzések eredménye szerint a kezelés mindhárom viselkedéstezt esetében tendenciaszerű hatást mutatott. Vagyis elegendően nagy mintán történt vizsgálódásunk az elektromágneses expozíció igen gyenge, de a viselkedést átfogóan érintő hatására utal. Az enyhe viselkedés-módosulás mögött elképzelhető, hogy diszkomfort érzet áll. Ennek fényében a humán elektroszenzitivitási reakció során jelentkező, diszkomfortot okozó nem-specifikus tünetek biológiai eredete nem kizárható.

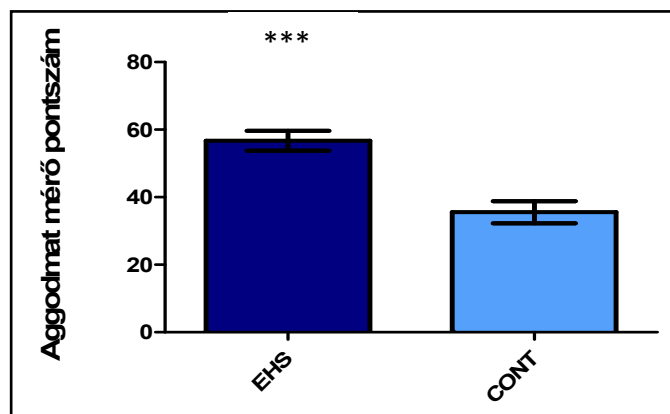
6.2. Az elektroszenzitív (EHS) és a kontroll csoportok összehasonlítása

6.2.1. Elvárások



.6.2.1.1. ábra: Az egyes csoportok EM expozíció feltételezett egészségkárosító hatásával szemben várt nem-specifikus tünetek gyakorisága *Alkalmazott módszer: kétmintás T-próba*

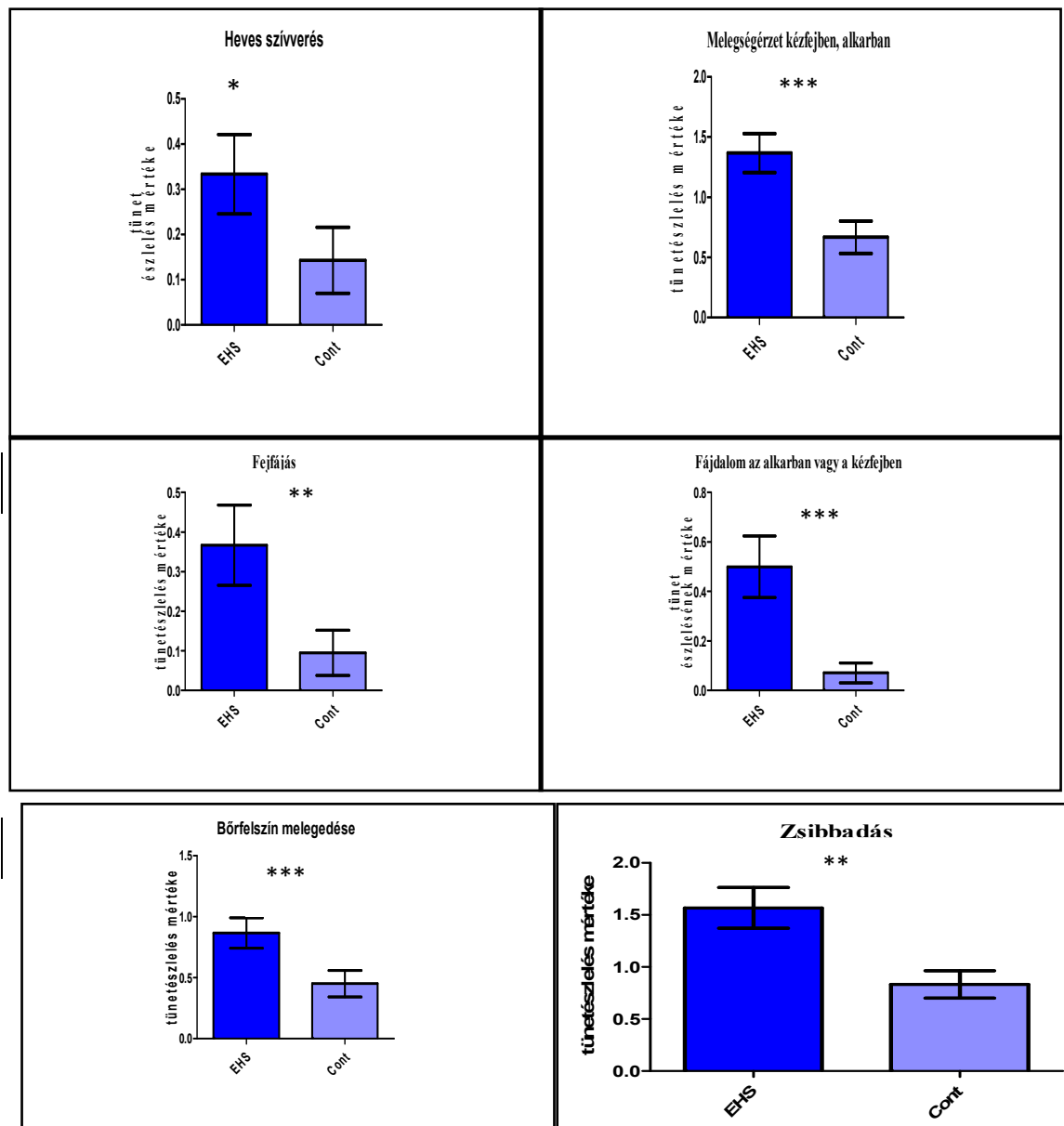
Az EHS csoport szignifikánsan több EM expozíciónak tulajdonítható tünetet várt el előzetesen ($p=0,0005$).



6.2.2.1. ábra Az egyes csoportok elektromágneses teret vagy sugárzást kibocsátó eszközökkel szembeni aggodalmainak mértéke. *Alkalmazott módszer: kétmintás T-próba*

Az EHS csoport szignifikánsan nagyobb fokú aggodalmat mutatott az elektromágneses expozíció lehetséges egészségkárosító hatásával szemben (** $p < 0,0001$)

6.2.3. Észlelt tünetek



6.2.3.1. ábra: Az elektromágneses expozíció hatásának tulajdonított nem-specifikus tünetek gyakorisága a két csoportban. *Alkalmazott módszer: Mann-Whitney-Teszt*

Az önmagukat elektroszenzitívnek tartó emberek szignifikánsan erősebben észlelték fejfájást (** $p = 0,0059$), alkari fájdalmat (** $p = 0,0006$), viszketést (** $p = 0,0097$), zsibbadást (** $p = 0,0041$), bőrfelszíni melegséget (** $p = 0,0008$), valamint nagyobb mértékben panaszkodtak heves szívverésre ($p = 0,0205$) elektromágneses expozíció hatására.

6.2.4. Korrelációs vizsgálat az egyes változók között

	Észlelt tünetek	Elvárt tünetek	Aggodalom	EHS	Helyes detekciók száma	Nem	Végzettség	Kor
Észlelt tünetek	1,000	,402(**)	,134	,393(**)	,049	,089	,058	,182(*)
Elvárt tünetek	,402(**)	1,000	,228(*)	,421(**)	-,093	,122	,130	-,147
Aggodalom	,134	,228(*)	1,000	,420(**)	-,073	-,051	,084	,044
EHS	-,393(**)	-,421(**)	-,420(**)	1,000	-,130	,042	-,090	,136
Helyes detekciók száma	,049	-,093	-,073	-,130	1,000	,087	,174	,081
Nem	,089	,122	-,051	,042	,087	1,000	,090	,002
Végzettség	,058	,130	,084	-,090	,174	,090	1,000	,187
Kor	-,182(*)	-,147	,044	,136	,081	,002	,187	1,000

6.3.5. A vizsgált változók közötti összefüggések vizsgálata, Alkalmazott módszer: nem-paraméteres korrelációs analízis a Kendall's tau b korrelációs együtthatók feltüntetésével. * $p < 0.05$; ** $p < 0,01$

A korrelációs vizsgálat alapján az EHS csoport több tünetet várt el előzetesen és észlelt az elektromágneses kitettség után, valamint nagyobb mértékben aggódott az elektromágneses teret keltő eszközök egészségkárosító hatása miatt. Több tünetet tapasztaltak az expozíció után a fiatalabb résztvevők, valamint akik elektroszenzitívnek tartották magukat, illetve akik a detekciós próbák előtt több tünet észlelését várták.

7. Megvitatás

Komplex állatkísérletes modellrendszerrel végzett vizsgálatunk eredményei alapján az 50 Hz-es, 500 μ T-ás magzatkori és kölyökkori elektromágneses kezelés csak kismértékben volt hatással a patkányok felnőttkori viselkedésére. Bár munkám során nem vizsgáltam az expozíció posztzomatikus fejlődésre gyakorolt hatását, az irodalomban vannak adatok a posztnatális fejlődés felgyorsulására, és a felgyorsult csontosodásra ELF EMF (50 Hz, 30 mT) hatására (MEVISSSEN, 1994).

A viselkedési tesztek alapján a kezelés hatására nőtt a patkányok helyzeti szorongása. Az általános aktivitás vizsgálatából az derült ki, hogy a magzatkorban kezelt állatok motoros aktivitása csökkent. Nagyobb helyzeti szorongást tapasztaltunk a magzatkori expozíció hatására nőstényeknél. A szociális aktivitást mérő tesztben ellentmondásos

eredményeket kaptunk. A magzat korban kezelt hímek szociális szorongása csökkent, míg a nőstények nagyobb szociális aktivitást mutattak. A terhesség alatti ELF EMF expozíció viselkedéses hatásairól szóló irodalmi adatok híján megemlíteném a felnőtt állatok krónikus kezelésének hatását a viselkedésre. 60 órás (50 Hz, 500 Hz) expozíció után 80 órával motiméterben elvégzett általános aktivitásmérés eredményeképpen nőtt a kezelt állatok passzív viselkedéselemekkel (mozdulatlanság, helyben mozgás) töltött ideje, mely megegyezik az általunk kapott eredményekkel (MEVISSSEN et al.,2003) Más adatok szerint a hosszú távú ELF EMF expozíció - 7 nap, 50 Hz, 0.5 mT (PROLI és mtsai, 2005) - nincs hatással a patkányok motoros aktivitására. Fiatalkorban történő hosszú távú kezelés (a születést követő 28. naptól 12 napon keresztül, napi 2 óra, 50 Hz, 500 μ T) hatására nem mutatkozott szignifikáns eltérés a kezelt és a kontroll patkányok között sem az emelt-keresztpalló, sem a felnőttkorban végzett open-field tesztben (BALASSA, 2006).

Eredményeink alapján elmondhatjuk, hogy az EL-EMF expozíció különböző viselkedési változókat befolyásoló hatása helyenként megfigyelhető patkányokban. Mivel azonban a kapott hatások nem jelentkeztek minden csoportnál, illetve nem konzisztensen, nem beszélhetünk egyértelmű hatásról. Az irodalomban is fellelhető adatok között találtunk eredményeinkkel megegyező, más kutatócsoportok által kapott hatásokat, így nem zárhatjuk ki az elektromágneses kitettség enyhe, tartós következményeit, biológiai hatásait.

Humán vonalon folytatott kísérletünkkel a környezeti elektromágneses terek egészségkárosító hatásainak pszichológiai eredetét voltunk hivatottak bizonyítani. Eredményeink alapján erősnek bizonyultak olyan pszichológiai tényezők, mint az előzetes aggodalmak, elvárások az elektromágneses hiperszenzitivitás és az elektromágneses terek következtében észlelt tünetek hátterében.

Az irodalomban számos adatot találunk arra vonatkozóan, hogy az EMF nincs közvetlen okozati összefüggésben a szubjektív tünetek megjelenésével (SEITZ és mtsai, 2005; ROOSLI, 2008; RUBIN és mtsai, 2009). Számos kísérleti eredmény bizonyítja, hogy a tünetképzés hátterében bizonyos hajlamosító tényezők is állhatnak, úgymint negatív hangulatok, érzelmek megélése, nagyobbfokú aggodalom az elektromágneses terek és az urbanizált életmód egészségkárosító hatásaival szemben (VAN DEN BERGH, 2002; PETRIE, 2005).

A kérdőíves vizsgálatok alapján a magukat EHS-nek tartó emberek több kellemetlen tünet észlelését várták az elektromágneses mező hatására, ezzel összefüggésben szignifikánsan több tünetet észleltek a detekciós próbák után. Kiemelten az elektromágneses

teret keltő eszközök, berendezések által keltett aggodalmakra helyeztük a hangsúlyt. Az elektrohiperszenzitív résztvevők nagyobb mértékű aggodalmat mutattak az urbanizált életmóddal összefüggő eszközhasználat lehetséges egészségkárosító hatásai miatt.

8. Összefoglalás

Az 50 Hz-es, 500 μ T-ás ELF EMF egy hetes magzat kori és kölyök kori expozíciójának biológiai hatását vizsgáltuk felnőtt hím és nőstény Wistar patkányok viselkedésére valamint humán mintán, az elektroszenzitivitás jelenségén keresztül vizsgáltuk az elektromágneses mező hatásának tulajdonított tünetészlelés pszichofiziológiai háttértényezőjét. Eredményeink alapján az 50 Hz-es, 500 Hz-es ELF-EMF expozíciója enyhén befolyásolja patkányok viselkedését, és bár további vizsgálatok szükségesek, nem kizárt, hogy az elektromágneses teret keltő berendezések, eszközök élő/ dolgozó terhes anyák gyermekei, valamint transzformátor állomások felett élő gyermekek fejlődésére, kognitív teljesítményére hatással lehet.

Vizsgálatainkban tehát a hosszú idejű, fejlődési szakaszban adott, emberi hatértéknek megfelelő intenzitású EMF expozíció, bár gyenge és bizonytalan mértékben, de befolyásolta az állatok felnőtt korban mutatott viselkedését. Ilyen nagy intenzitású EM térben ugyanakkor csak nagyon kivételes esetben tartózkodnak terhes anyák vagy gyermekek, eredményeink mégis odafigyelésre adhatnak okot. Ugyanakkor humánkísérletes vizsgálataink eredményeiből levonhatjuk következtetésünket, miszerint az elektromágneses terek által kiváltott tünetpercepcióban a pszichológiai tényezőknek van alapvető a biofizikai háttértényezőkkel szemben. A megnövekedett aggodalmak és negatív elvárások, melynek forrásai elsősorban környezeti és kulturális hatások (pl. média) bizonyultak a fő hajlamosító tényezőnek az elektromágneses érzékenység hátterében.

9. Irodalomjegyzék

Balassa T. (2006) Alacsony frekvenciás elektromágneses tér viselkedési hatásai patkányban (szakdolgozat)

Bárdos G. (2006) Új kihívások: Nem specifikus egészségproblémák. (www.magtud.sote.hu/bardos-gyorgy-nem-specifikus-egeszsegproblemak.pdf)

Berman E., Chacon L., House D., Kocs B. A., Koch W.E., Leal J., Lovtrup S., Mantiply E., Martin A. H., Martucci G.I., et al. (1990) Development of chicken embryos in a pulsed magnetic field. (*Bioelectromagnetics.*; 11 (2):169-187)

Bouwknicht J. A., Spiga F., Staub D.R., Hale M. W., Shekar A., Lowry C.A. (2007) Differential effects of exposure to low-light open-field on anxiety- related behaviours: relationship to c-Fos expression in serotonergic and non-serotonergic neurons in the dorsal raphe nucleus. *Brain Res Bull.* 72 (1): 32-43

Canedo L., Cantu R.G., Hernandez-R. J. (2003) Magnetic field exposure during gestation: pineal and cerebral cortex serotonin in the rat. *Int J Dev Neurosci.* 21 (5):263-266

Chung M. K., Lee S. J., Kim Y. B., Park S. C., Shin D. H., Kim S. H., Kim J. C. (2005) Evaluation of spermatogenesis and fertility in F1 male rats after in utero and neonatal exposure to extremely low frequency electromagnetic fields. *Asian J Androl.* 7 (2):189-194.

Chung M. K., Kim J.C., Myuung S. H. (2004) Lack of adverse effects in pregnant/lactating female rats and their offspring following pre- and postnatal exposure to ELF magnetic fields. *Bioelectromagnetics.* 25 (4):236-244.

Chung M. K., Kim J.C., Myuung S. H., Lee D. I. (2003) Developmental toxicity of evaluation of ELF magnetic fields in Sprague-Dawley rats. *Bioelectromagnetics.* 24 (4):231-240.

Crasson M. (2003) 50-60 Hz electric and magnetic field effects on cognitive function in humans: a review. *Radiat Prot Dosimetry.* 106 (4):333-340

Cruz A.P.M., Frei F., Graeff F.G. (1994) Ethopharmacological analysis of rat behavior on the elevated plus-maze, *Pharmacology Biochemistry and Behaviour* 171-176

Delhez M., Legros J.J., Crasson M. (2004) No influence of 20 and 400 mT, 50 Hz magnetic field exposure on cognitive function in humans. *Bioelectromagnetics.* 24 (8):592-598.

- Eltiti, S., Wallace, D., Zougkou, K., Russo, R., Joseph, S., Rasor, P., Fox, E., 2007. Development and evaluation of the electromagnetic hypersensitivity questionnaire. *Bioelectromagnetics* 28, 137–151.
- Farrel J. M., Litovitz T. L., Penafiel M., Montrose C.J., Doinov P., Barber K. M., Litovitz T. A. (1997) The effect of pused and sinusoidal magnetic fields on the morphology of developing chick embryos. *Bioelectromagnetics*. 18 (6):431-438.
- Huuskonen H., Juutilainen J., Komulainen H. (2001) Development of preimplantation mouse embryos after exposure to a 50 Hz magnetic field in vitro. *Toxical Lett.* 122 (2):149-155.
- Huuskonen H., Juutilainen J., Julkunen A., Maki-Paakkanen J., Komulainen H. (1998) Effects os low-frequency magnetic fields on fetal development on CBA/Ca mice. *Bioelectromagnetics*. 19 (8):477-485.
- Huuskonen H., Juutilainen J., Komulainen H. (1993) Effects of low-frequency magnetic fields on fetal development in rats. *Bioelectromagnetics*. 14 (3):205-213.
- ICNIRP (1998) Guidelines for limiting exposure to time varying electic, magnetic, ang electromagnetics fields (up to 300 GHz):. *Health Phsics Society*, 74 (4):494-522.
- Kaune W.T. (1993) Introduction to power-frequency electric and magnetic fields. *Environ Health Perspect.* 101 Suppl 4:73-81.
- Kowalczuck C.I., Robbins L., Thomas J. M., Butland B.K., Saunders R. D. (1994) Effects of prenatal exposure to 50 Hz magnetic fields on development in mice: I. Implantation rate and fetal development. *Bioelectromagnetics*. 15 (4):349-361.
- Lai H., Carino M. A., Ushijima I. (1998) Acute exposure to a 60 Hz magnetic field affects rats' water-maze performance. *Bioelectromagnetics*. 15 (4):349-361.
- Mevissen M., Bутtenkotter S., Loscher W. (1994) Effects of static and time-varying (50 Kz) magnetic fields on reproduction and fetal development in rats. *Teratology*. 50(3):229-237.
- Negishi T., Imai S., Itashibi M., Nishimura I., Sasano T. (2002) Studies of 50 Hz circularly polarized magnetic fields of up to 350 mT on reproduction and embryo-fetal development in rats: exposure during organogenesis or during preimplantation. *Bioelectromagnetics*. 23 (5):369-389.

Nevelsteen S., Legros J. J., Crasson M. (2007) Effects on information and magnetic fields on cognitive performance and reported symptoms. *Bioelectromagnetics*. 28 (1):53-63.

Pesic V., Janac B., Jelenkovic A., Vorobyov V., Prolic Z.,(2004) Non-linearity in combined effects of ELF magnetic field and amphetamine on motor activity in rats. *Behav Brain Res*. 150(1-2):223-227.

Petrie, K.J., Sivertsen, B., Hysing, M., Broadbent, L., Moss-Morris, R., Eriksen, H.R. & Ursin, H. (2001). Thoroughly Modern Worries: The Relationship of Worries About Modernity to Reported Symptoms, Health, and Medical Care Utilization. *Journal of Psychosomatic Research*, 51(1), 395-401.

Podd J., Abbott J., Kazanits N., Rowland A. (2002) Brief exposure to a 50 Hz, 100 mT magnetic field: effects in reaction time, accuracy, and recognition memory. *Bioelectromagnetics*. 23 (3):189-195.

Portier CJ and Wolfe MS (eds.), National Institute of Environmental Health Sciences of the National Institute of Health. Assessment of health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields. NIEHS Working Group Report, Research Triangle Park, NC, USA, NIH Publication No. 98-3981, 1998. See <http://www.niehs.nih.gov/>

Rommereim D.N., Rommereim R.L., Sikov M.R., Bushbom R.L., Anderson L.E. (1990) Reproduction, growth, and development of rats during chronic exposure to multiple field strengths of 60 Hz electric fields. *Fundam Appl Toxicol*. 14(3):608-621.

Rubin, G. J., Das Munshi, J., & Wessely, S. (2005). Electromagnetic hypersensitivity: a systematic review of provocation studies. *Psychosomatic Medicine*, 67(2), 224-232.

Rubin, G. J., Nieto-Hernandez, R., & Wessely, S. (2010). Idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (formerly 'electromagnetic hypersensitivity'): An updated systematic review of provocation studies. *Bioelectromagnetics*, 31(1), 1-11.

Ryan B.M., Polen M., Gauger J.R., Mallett e. Jr., Kearns M.B., Bryan T.L., McCormick D. L. (2000) Evaluation of the developmental toxicity of 60 Hz magnetic fields and harmonic frequencies in Sprague-Dawley rats. *Radiat Res* 153 (5Pt2):637-641.

Salum c., Morato S., Roque-da Silva A. C. (2000) Anxiety-like behaviour in rats: a computational model. *Neural Netw.* 13(1):21-29

Seitz, H., Stinner, D., Eikmann, T., Herr, C., & Rösli, M. (2005). Electromagnetic hypersensitivity (EHS) and subjective health complaints associated with electromagnetic fields of mobile phone communication--a literature review published between 2000 and 2004. *The Science of the Total Environment*, 349(1-3), 45-55.

Sienkiewicz Z.J., Bartram R., Haylock R.G., Saunders R.D. (2001) Single, brief exposure to a 50 Hz magnetic field does not affect the performance of an object recognition task in adult mice. *Bioelectromagnetics*. 22(1):19-26.

Szemerszky R. (2010) Nocebo a mindennapjainkban: ismeretlen eredetű környezeti intoleranciák *Magyar Tudomány*.

Szemerszky R., Köteles F. Bárdos Gy. A környezeti elektromágneses terhelés hatásának tulajdonított nem specifikus tünetek és a tünetképzés pszichológiai háttértényezői *Magyar Pszichológiai Szemle* 553-571.

Szemerszky R. (2007) Hosszú tartamú alacsony-frekvenciás elektromágneses tér viselkedési hatásai patkányban (OTDK dolgozat)

Szemerszky R., Köteles F., Bárdos Gy. (2009) A környezeti elektromágneses terhelés hatásának tulajdonított nem-specifikus tünetek és a tünetképzés pszichológiai háttértényezői *Magyar Pszichológiai Szemle*. 64 (3): 553–571.

Whittington C.J., Podd J. V., Rapley B.R. (1997) Acute effects of 50 Hz magnetic field exposure on human visual task and cardiovascular performance. *Bioelectromagnetics*. 17(2):131-137.

Varjú Gy. (2002) Kisfrekvenciás erőkterek egészségi és elektromágneses összeférhetőségi kérdései. *Magyar Tudomány*. 8: 1048-1064. <http://www.matud.iif.hu/2002-08.pdf>.

WHO (2000) Electromagnetic Fields and Public Health: Cautionary Policies (WHO Backgrounder)